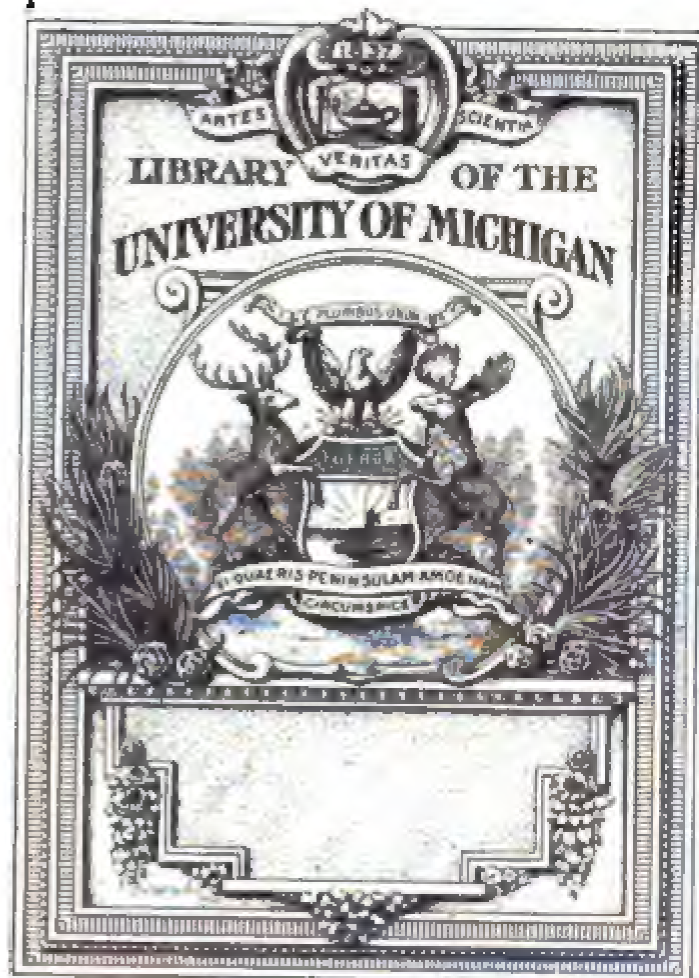



ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE

ANNALES

DES MINES.

Les ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration des Mines et sous la direction d'une commission spéciale, nommée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission, dont font partie le directeur des routes, de la navigation et des mines et le directeur du personnel et du secrétariat, est composée ainsi qu'il suit :

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit, à titre de don, aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit, à titre d'échange, aux rédacteurs des ouvrages périodiques, français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts.

Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, *sous le couvert de M. le Ministre des Travaux Publics*, à M. l'Ingénieur secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES.

Les auteurs reçoivent *gratis* 20 exemplaires de leurs articles.

Ils peuvent faire faire des tirages à part, à raison de 9 francs par feuille jusqu'à 50, 10 francs de 50 à 100, et 5 francs en plus pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. — Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par livraisons, qui paraissent tous les deux mois.

Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont deux consacrés aux matières scientifiques et techniques, et un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. Ils contiennent ensemble 90 feuilles d'impression et 24 planches gravées environ.

Le prix de l'abonnement est de 20 francs pour Paris, de 24 francs pour les départements et de 28 francs pour l'étranger.

PARIS. — IMPRIMERIE C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

ANNALES
DES MINES

OU

RECUEIL

DE MÉMOIRES SUR L'EXPLOITATION DES MINES

ET SUR LES SCIENCES ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT,

RÉDIGÉES ET PUBLIÉES

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

HUITIÈME SÉRIE.

MÉMOIRES. — TOME III.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

LIBRAIRE DES CORPS NATIONAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES, DES MINES ET DES TÉLÉGRAPHES,

Quai des Augustins, n° 49

1883

ANNALES
DES MINES.

MÉMOIRE SUR L'OXYDABILITÉ RELATIVE
DES FONTES, DES ACIERS ET DES FERS
SOUS L'ACTION
DE L'AIR ET DE L'EAU
PLUS OU MOINS CHARGÉS D'ÉLÉMENTS ÉTRANGERS

Par M. L. GRUNER.

Dans ma note sur l'acier fondu le plus convenable pour les rails (*), j'ai rappelé que l'humidité, en favorisant la rouille, devait hâter l'usure des rails; et m'appuyant sur quelques essais de M. Adamson, j'exprimais la pensée que si les rails en acier doux s'usaient moins vite que les rails durs, cela pouvait provenir en partie de l'oxydabilité plus grande des aciers communs plus ou moins chargés d'éléments étrangers.

Il me restait cependant quelques doutes sur le bien fondé

(*) *Annales des mines*, 7e s., t. XX, 1881.

de cette dernière conclusion, parce que M. Adamson avait provoqué l'oxydation par de l'eau acidulée et non par la simple action de l'air humide. J'ai donc entrepris depuis une année une série d'essais pour comparer entre elles les diverses réactions sous l'influence desquelles les matériaux ferreux sont oxydés dans les constructions et les arts. J'ai consulté aussi les études faites antérieurement dans cette voie par d'autres ingénieurs, en Angleterre surtout.

La question n'est, en effet, pas neuve.

A l'instigation de l'Association britannique pour l'avancement des sciences, des expériences prolongées furent entreprises par M. R. Mallet à Dublin dans le but de fixer la durée probable des constructions en fer et fonte, dont les pièces seraient exposées à l'action prolongée de l'air et de l'eau plus ou moins pure. Les résultats obtenus furent consignés dans les rapports de l'Association britannique des années 1840 et 1843.

Plus récemment, la question fut reprise pour le fer doux et l'acier appliqués à la construction des coques de navires et des chaudières à vapeur par les soins de l'amirauté anglaise et par deux ingénieurs, MM. D. Phillips et W. Parkers, dont les mémoires ont paru, le premier, dans le t. LXV (1881) des procès-verbaux de la Société des ingénieurs civils de Londres, le second, dans le volume de l'*Iron and Steel Institute*, pour mai 1881.

Nous verrons qu'en général ces expériences concordent avec les miennes quoique exécutées à un point de vue un peu différent.

Mes expériences ont été faites sur des plaques carrées d'un décimètre de côté, décapées et polies à la lime et à la meule sèche. Leur poids varie, selon l'épaisseur, de 150 à 350 grammes; mais comme les surfaces sont identiques, les résultats fournis par les pesées successives n'en sont pas moins directement comparables.

Pour pouvoir soumettre les diverses plaques à des réac-

tions rigoureusement pareilles, on les fixait, au nombre de quinze, dans un châssis en bois facile à manœuvrer à l'aide d'une poignée. Le châssis est formé de deux fortes planchettes verticales, reliées l'une à l'autre par quatre traverses horizontales légèrement entaillées à la scie pour pouvoir soutenir les plaques. Celles-ci sont de la sorte suspendues par les quatre coins sans réactions galvaniques réciproques.

On pouvait les immerger toutes simultanément dans une auge en bois, doublée de plomb, contenant le liquide qui devait réagir sur les plaques métalliques ; ou bien les laisser exposées à l'air humide, en suspendant le châssis au-dessus de l'auge. Les plaques étaient placées parallèlement à 15 millimètres de distance l'une de l'autre ; elles formaient ainsi par leur ensemble une sorte de parallélipipède rectangle à cloisons verticales, retenues aux quatre angles par les traverses ci-dessus mentionnées.

Les premières expériences ont été faites dans le courant de l'hiver 1881-1882, pendant mon séjour aux forges de Saint-Montan, près de Beaucaire ; d'autres à Paris ; les dernières en Normandie, sur les bords de la mer, dans le courant de l'été 1882, mais toutes à l'aide du même appareil.

Les plaques soumises aux essais proviennent d'usines diverses. Onze m'ont été fournies par M. Brustlein, directeur des aciéries Holtzer, situées à Unieux, près de Firminy (Loire) ; sept par M. Alfred Evrard, directeur des anciennes usines Verdié, de Firminy ; dix par mon fils, directeur de la forge de Saint-Montan, près Beaucaire.

Les plaques d'Unieux sont des aciers purs, fondus au creuset, inégalement carburés, mais tous peu chargés d'éléments étrangers, sauf deux, renfermant, l'un du chrome, l'autre du tungstène.

Voici, d'après M. Brustlein, la teneur en carbone de ces divers aciers :

La plaque n° 1. . . .	0,40 p. 100.		
n° 2. . . .	0,90	avec { manganèse. . . . / phosphore. . . .	0,022 p. 100 / 0,008 —
n° 2 *bis*. .	0,90	{ avec moins de. / et moins de . .	0,03 de manganèse / 0,03 de phosphore.
— n° 3. . . .	1,10		
n° 4. . . .	1,40		
n° 5. . . .	0,55	avec	2 p. 100 de chrome.
n° 6. . . .	1,20	avec	1 — de tungstène.

M. Brustlein ajoute que le n° 2 a été analysé avec soin dans le laboratoire de M. Boussingault, à Paris ;

Que les n°s 1 à 4 appartiennent à la catégorie des aciers pour outils, produits à Unieux à l'aide de fer de Suède ou des Pyrenées ;

Que les n°s 1, 3 et 4 diffèrent très peu du n° 2 quant aux teneurs en manganèse et phosphore ; que le carbone seul varie d'un acier à l'autre et que le silicium est au-dessous d'un millième ; enfin, que les aciers 5 et 6 renferment, outre le chrome et le tungstène, un peu plus de manganèse que les autres et probablement aussi une dose un peu plus forte de silicium. Tous les aciers sont d'ailleurs sensiblement exempts de soufre. En somme, ce sont sans exception des aciers de première qualité.

Notons de plus que les quatre plaques trempées des usines d'Unieux proviennent des mêmes lingots que les n°s 1, 3, 4 et 5 et que, dans la crainte que les plaques précédentes n'aient été aussi partiellement trempées, lors du laminage même, je les fis recuire en vase clos et au rouge sombre avant de les exposer à l'action oxydante de l'air et de l'eau.

Les aciers de l'usine Verdié, de Firminy, quoique fabriqués au réverbère par le procédé Martin-Siemens, furent refondus au creuset pour les rendre plus homogènes. Les n°s 1 à 4 et 6 ont été refondus seuls ; les n°s 5 et 7 avec une certaine dose de charbon de bois, dans le but de

rehausser la teneur en carbone. Voici, au surplus, d'après M. Evrard, la composition de ces divers aciers :

100 d'acier renferment :

NUMÉROS des plaques.	CARBONE.	MANGANÈSE	SOUFRE.	PHOSPHORE.	SILICIUM.
1.	0,160	0,140	0,048	0,039	0,093
2.	0,450	0,160	0,044	0,037	0,139
3.	0,600	0,150	0,022	0,034	0,186
4.	0,800	0,140	0,027	0,031	0,279
5.	0,900	0,110	0,025	0,023	0,186
6.	1,400	0,110	0,033	0,030	0 372
7.	1,560	0,120	0,020	0,032	0,320

On voit que les aciers sont relativement purs, comme ceux d'Unieux, sauf les n°s 6 et 7 qui renferment une assez forte proportion de silicium, à cause de la refonte avec le charbon de bois dans des creusets de terre. Avant de les soumettre à l'action des agents oxydants, on les a recuits comme les précédents en vase clos afin de parer à la trempe provenant du laminage même.

Par opposition avec les aciers fins de Firminy ceux de la compagnie de Châtillon et Commentry sont des aciers ordinaires pour rails et tôles. Les trois de l'usine de Saint-Montan ont été obtenus dans la cornue Bessemer : ce sont des aciers durs pour rails; les deux de Montluçon ont été préparés dans les fours Martin-Siemens : ce sont des aciers doux pour tôles. Voici les éléments essentiels des cinq aciers, d'après une analyse un peu sommaire :

ORIGINE des aciers.		CARBONE.	MANGANÈSE.	SILICIUM.	OBSERVATION.
Acier de Montluçon.	n° 1.	0,21	0,28	0,09	
	n° 2.	0,17	0,21	0,11	
Acier de Saint-Montan . . .	n° 1.	0,26	0,36	0,24	
	n° 2.	0,55	0,72	0,56	
Acier très dur de Saint-Montan. . .		0,59	1,36	0,93	Cet échantillon, exceptionnellement impur, a été obtenu par accident.

Outre les aciers, j'ai soumis aux agents oxydants quatre fontes d'origine et de composition très différentes. Voici leurs caractères distinctifs :

1° Fonte de première fusion de Saint-Montan, servant à la fabrication de l'acier Bessemer pour rails. C'est une fonte très graphiteuse, noire, obtenue par allure très chaude avec laitiers fusants ultra-calcaires. Elle contient 3 à 4 p. 100 de manganèse et 1 à 2 p. 100 de silicium ; très peu de soufre et de phosphore.

2° Fonte très pure, au bois, provenant d'anciens canons de la marine, fabriqués aux réverbères à Ruelle vers 1845. Elle est compacte, tenace, de nuance gris clair. Pour obtenir l'échantillon on a simplement refondu au creuset un fragment de la fonte en question.

3° Fonte grise ordinaire de poterie, peu tenace et phosphoreuse, également refondue au creuset.

4° Fonte blanche spéculaire (*spiegel*) de Saint-Montan, tenant 20 à 25 p. 100 de manganèse. Il a fallu la couler en plaques de près d'un centimètre d'épaisseur pour résister à l'action de la meule sèche. Par ce motif, son poids s'est trouvé le double de celui des plaques d'acier les plus fortes, mais comme surface elle avait les mêmes dimensions que les autres plaques.

I. ACTION DE L'AIR HUMIDE.

1° *Courtes, mais fréquentes immersions dans l'eau pure ; longues expositions à l'air.* — Passons maintenant aux résultats des expériences, en commençant par celle où la *rouille* fut provoquée par l'immersion fréquente, mais *peu soutenue*, dans l'eau à la température ordinaire, puis l'exposition prolongée à l'air sur une terrasse où le vent, la pluie et le soleil avaient libre accès.

Lors d'une première expérience, malheureusement de trop faible durée, de dix jours seulement, les plaques fu-

rent mouillées à l'eau douce pure. A cause de cette faible durée, les résultats sont peu saillants ; l'influence due à la nature variable des plaques n'est guère sensible ; aussi cette expérience est-elle reprise en ce moment et sera-t-elle prolongée pendant plusieurs semaines. En attendant, voici les résultats obtenus, à la suite de ce premier essai fait du 5 au 15 septembre 1882, en Normandie, près de Villerville-sur-Mer. Disons seulement que, pour faciliter le décapage, on a plongé le dernier jour toutes les plaques pendant une heure dans de l'eau tenant 1/4 p. 100 d'acide sulfurique à 66° Beaumé ; après cela elles furent brossées, rapidement séchées et finalement pesées.

Tableau A

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de l'usine Holtzer d'Unieux	1	300,5	299,2	1,3	
	2	324,4	323,5	0,9	
	2 *bis*	331,9	329 2	2,7	
	3	304,2	303,0	1,2	
	4	320,8	318,2	2.6	Acier très carburé.
	5	338,5	336,0	2,5	Acier chromé.
	6	339,0	337.7	1 3	Acier au tungstène.
Aciers trempés de l'usine d'Unieux.	1	313,9	312,5	1,4	Les numéros des aciers trempés correspondent aux numéros des aciers recuits.
	3	291,1	289,0	2,1	
	4	326,5	324,5	2,0	
	5	333,2	331,5	1,7	
Aciers de Montluçon doux.	1	149,9	149,0	0,9	
	2	161,4	160,0	1,4	
Aciers de Saint-Montan durs.	1	282,2	280,5	1,7	
	2	357,5	356,2	1,3	

La seule conclusion qu'il soit permis de tirer de ces résultats, c'est que la rouille due *à l'air humide* attaque à peu près également tous les aciers quel que soit leur degré de carburation ou de pureté, et que la trempe ne semble pas modifier sensiblement l'oxydabilité du métal.

2° *Courtes, mais fréquentes immersions dans l'eau acidulée; longues expositions à l'air.* — Les mêmes plaques furent soumises à l'action de la rouille par l'air après immersion dans l'eau acidulée à 1/2 p. 100 d'acide sulfurique concentré. L'immersion durait dix minutes; on la suspendait dès que l'hydrogène commençait à se dégager d'une façon apparente. On exposait alors les plaques à l'air durant six à dix heures, et on les mouillait de nouveau durant quelques minutes. Après cinq jours on renouvela l'eau acidulée et on continua l'opération dans les mêmes conditions pendant onze jours, de sorte que la durée totale de l'essai fut de seize jours (du 29 mai au 13 juin). A la fin, pour faciliter le décapage, on a prolongé l'immersion des plaques l'espace de deux à trois heures dans l'eau qui avait servi à leur mouillage les derniers onze jours.

Dans ce deuxième essai on a obtenu les résultats suivants :

Tableau B

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de l'usine Holtzer d'Unieux	1	311,3	307,0	4,3	
	2	334,9	330,5	4,4	
	2 *bis*	342,3	338,8	3,5	
	3	315,3	311,0	4,3	
	4	331,0	327,5	3,5	
	5	351,2	345,4	5,8	C'est l'acier chromé qui se décape le mieux en laissant un abondant dépôt gris foncé, gras au toucher.
	6	348,3	345,3	3,0	
Aciers trempés de l'usine d'Unieux	1	326,3	320,2	6,1	
	3	304,1	297,3	6,8	
	4	340,8	334,1	6,7	
	5	344,1	339,1	5,0	
Aciers de Montluçon doux.	1	157,3	152,5	4,8	
	2	169,7	165,8	3,9	
Aciers de Saint-Montan durs.	1	292,6	287,8	4,8	
	2	369,2	364,6	4,6	

Comme dans l'expérience précédente, on voit que la dureté de l'acier n'influe guère sur le degré de la rouille. On peut seulement constater que les aciers trempés, à l'exception de l'acier chromé, sont plus fortement attaqués que les mêmes aciers recuits ; que, parmi les aciers recuits, l'acier *chromé* est notablement plus attaqué que les aciers ordinaires, et que le moins attaqué est l'acier au tungstène. Nous verrons au reste que ces différences doivent être surtout attribuées à l'action de l'acide, car dans les essais d'oxydation où l'eau acidulée agit seule sans intervention de l'air, l'acier chromé est plus attaqué que les aciers ordinaires et les aciers trempés le sont plus que les aciers recuits.

J'ai soumis aux mêmes essais d'oxydation à l'air, après courte immersion dans l'eau acidulée, les aciers de l'usine de Firminy, les deux plaques exceptionnellement chargées de manganèse et de silicium de Saint-Montan, ainsi que les quatre fontes ci-dessus mentionnées. L'un des essais a duré cinq jours, l'autre vingt.

Pour le premier essai, qui a duré du 15 au 20 mars, on a pris de l'eau acidulée à 1/2 p. 100 d'acide sulfurique, que l'on renouvela le deuxième et le quatrième jour afin de provoquer l'oxydation d'une façon énergique. Pour le deuxième essai, l'eau ne contenait que 1/4 p. 100 d'acide sulfurique à l'origine. Le sixième jour, on revint cependant à la dose de 1/2 p. 100, mais l'eau ne fut renouvelée que deux fois durant les derniers quinze jours pour que l'action oxydante de l'acide fût moins intense.

Voici d'abord les résultats du premier essai :

Tableau C

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de la forge Verdié de Firminy.	1	245.0	242,3	2,7	
	2	266,8	263,8	3,0	
	3	268,5	265,8	2,7	
	4	283,1	280,6	2,5	
	5	265,0	262,5	2,5	
	6	295,5	294,0	1,5	Ces deux aciers fortement carburés se décapent mieux que les aciers moins carburés n°s 1 à 5.
	7	273,0	270,7	2,3	
Acier de Saint-Montan chargé de siliciure de manganèse.	Plaque non trempée.	265,6	363,6	2,0	Ces deux plaques se décapent facilement, surtout la plaque trempée qui se couvre d'un enduit noir onctueux.
	Plaque trempée.	369,5	367,0	2,5	
Fonte noire de Saint-Montan pour acier Bessemer.	1	315,5	311,6	3,9	S'attaque vivement par l'acide; se couvre d'un enduit graphiteux.
Fonte au bois de Ruelle pour canons de marine.	2	337,9	336,0	1,9	Moins vivement attaquées que la fonte n° 1.
Fonte grise pour poterie (phosphoreuse).	3	394,0	391,3	2,7	
Fonte spéculaire manganésée de Saint-Montan.	Blanche cristalline.	726,2	723,4	2,8	

On voit, comme dans les deux essais précédents, que les aciers offrent peu de différences sous le rapport de l'oxydabilité. A part la fonte noire, graphiteuse et manganésée de Saint-Montan, les fontes ne s'oxydent pas plus que les aciers. La moins attaquée est la fonte pure et dense de Ruelle. La fonte spéculaire, malgré ses 20 p. 100 de manganèse, est relativement peu entamée, le carbone semble protéger le métal. La fonte noire est, par contre, plus accessible à l'oxydation à cause de sa porosité et sans doute aussi à cause du silicium qu'elle renferme.

Le deuxième essai, fait en avril et mai durant vingt jours, a donné les résultats résumés dans le tableau D.

Tableau D

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de la forge Vertié de Firminy.	1	242,0	238,0	4,0	On voit que tous les aciers sont uniformément attaqués, le décapage est en général assez facile, et l'on constate sous la rouille un faible enduit gris noir onctueux.
	2	263,7	259,4	4,3	
	3	265,4	260,8	4,6	
	4	280,0	275,2	4,8	
	5	261,8	257,1	4,7	
	6	292,5	288,1	4,4	
	7	269,9	265,3	4,6	
Acier de Saint-Montan chargé de siliciure de manganèse.	Plaque non trempée.	362,0	358,2	3,8	Le décapage est très facile; sous la rouille abondant enduit noir.
	Plaque trempée.	362,9	358,1	4,8	
Fonte noire de Saint-Montan pour acier Bessemer.	1	295,7	291,6	4,1	La fonte 1 se décape seule facilement avec enduit graphiteux noir.
Fonte au bois de Ruelle pour canons de marine.	2	335,2	331,9	3,3	
Fonte grise pour poterie (phosphoreuse).	3	382,4	379,5	2,9	
Fonte spéculaire manganésée de Saint-Montan.	Blanche cristalline.	721,9	720,0	1,9	

Les différences sont moins prononcées que dans l'essai précédent par suite de la force moins grande de l'eau acidulée. Les conditions se rapprochent davantage de celles de l'essai A où l'air humide agit seul.

Cependant on constate ici, comme dans les essais B et C, que la trempe favoriserait l'oxydation.

Les fontes sont d'ailleurs moins attaquées que les aciers, et parmi elles la fonte spéculaire résiste surtout mieux que les autres.

II. ACTION DE L'EAU DOUCE ET DE L'EAU DE MER.

A la suite des expériences faites sous l'influence de l'air

humide, citons celles qui ont eu pour but l'action de l'*eau douce* et celle de l'*eau de mer*.

On sait que l'eau *pure* n'attaque le fer ni à la température ordinaire ni même à 100° dans les chaudières à vapeur. Mais l'oxydation se produit à la longue sous l'action combinée de l'air et de l'acide carbonique dissous par l'eau d'alimentation.

Pour constater l'effet de l'eau douce il faut donc une immersion très prolongée. Or, la seule expérience faite sur nos plaques dans ce but n'a duré que onze jours. C'est évidemment fort insuffisant, et cependant même dans ce court espace de temps j'ai pu constater que les fontes sont davantage attaquées par l'eau douce que les aciers, et que parmi elles les fontes manganésées se couvrent surtout assez rapidement de rouille *noire*. Ainsi, tandis que les aciers ont perdu au maximum, dans le courant de ces onze jours, $0^{gr},3$, la perte de la fonte noire de Saint-Montan s'est élevée à $0^{gr},7$ et celle du spiegel à $1^{gr},5$. Viennent ensuite la fonte au bois de Ruelle avec $0^{gr},6$ et la fonte phosphoreuse pour poterie avec $0^{gr},5$.

Notons encore que les aciers n'étaient en réalité légèrement rouillés que dans les parties voisines de la surface de l'eau, tandis que les deux plaques manganésées étaient couvertes dans toute leur étendue d'une légère rouille d'apparence floconneuse et de nuance sombre.

Mais si l'eau douce agit peu, l'action de l'eau de mer est, au contraire, fort énergique. J'ai constaté dès le premier jour la formation de chlorure de fer dans l'eau de mer de mon appareil, et peu après celle de flocons de rouille. On voit d'ailleurs se dégager un peu d'hydrogène et les fontes se couvrir de rouille noire.

L'expérience a duré neuf jours, et dans cet intervalle l'eau fut renouvelée trois fois. Voici les résultats de cet essai à l'eau de mer :

Tableau E

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de la forge Verdié de Firminy.	1	234,8	232,7	2,1	
	2	256,8	254,8	2,0	
	3	258,0	256,9	1,1	
	4	272,5	270,3	2,2	
	5	253,9	252,7	1,2	
	6	285,3	283,3	2,0	
	7	262,0	260,2	1,8	
Acier de Saint-Montan chargé de manganèse et de silicium.	Plaque non trempée.	354,2	351,2	3,0	Sous la rouille on constate un dépôt noir onctueux.
	Plaque trempée.	350,8	348,0	2,8	
Fonte noire de Saint-Montan pour acier Bessemer.	1	280,4	276,9	3,5	Sur toutes les fontes on remarque sous la rouille un dépôt noir charbonneux, doux au toucher.
Fonte au bois de Ruelle pour canons de marine.	2	326,9	323,8	3,1	
Fonte grise pour poterie.	3	371,7	366,7	5,0	
Fonte spéculaire manganésée de Saint-Montan.	Blanche cristalline.	719,0	712,0	7,0	

On voit que l'eau de mer attaque aussi, comme l'eau douce, plus vivement les fontes que les aciers, et que des quatre fontes c'est également la fonte manganésée spéculaire qui est la plus fortement corrodée. La différence est même très grande, et contraste singulièrement avec l'action de l'air humide qui entame, au contraire, la fonte spéculaire moins que les trois autres (essai D).

En comparant les deux tableaux D et E, on peut remarquer, en outre, que l'eau de mer attaque de même assez fortement la fonte grise phosphoreuse, tandis que l'eau douce et l'air humide l'oxydent moins que les autres fontes grises.

Une autre anomalie à signaler, c'est que l'acier trempé semble moins corrodé par l'eau de mer que le même acier

non trempé, tandis que la trempe favorise l'action oxydante de l'eau acidulée.

On a également soumis à l'action de l'eau de mer les quinze plaques de la série des aciers d'Unieux. L'expérience a duré dix-sept jours, du 9 au 26 août. L'eau fut renouvelée une seule fois ; vers la fin on ajouta 3/4 p. 100 d'acide qu'on ne laissa agir que pendant une heure en vue du décapage.

Voici les résultats de cet essai :

Tableau E'

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de l'usine Holtzer d'Unieux.	1	305,0	301,9	3,1	
	2	328,5	326,1	2,4	
	2 bis	336,8	334,7	2,1	
	3	309,0	305,8	3,2	
	4	325,5	322,8	2,7	
	5	343,3	340,3	3,0	Sous la rouille dépôt gris noir abondant.
	6	343,4	341,8	1,6	
Aciers trempés de l'usine Holtzer d'Unieux.	1	318,2	315,7	2,5	
	3	295,3	293,3	2,0	
	4	332,1	329,7	2,4	
	5	337,1	335,9	1,2	Très faible enduit gris.
Aciers de Montluçon doux	1	150,5	149,9	0,6	
	2	163,8	161,9	1,9	
Aciers de Saint-Montan doux.	1	285,8	284,5	1,3	
	2	362,6	360,0	2,6	

Cet essai montre, comme le précédent, qu'à l'inverse de l'eau acidulée les plaques trempées sont moins attaquées par l'eau de mer que les aciers recuits.

L'acier au chrome recuit est plus fortement oxydé que les aciers simplement carburés et, par contre, l'acier chromé trempé l'est moins. La comparaison des aciers de Montluçon et de Saint-Montan prouve que les aciers doux sont moins attaquables par l'eau de mer que les aciers

durs, ce que nous constatons aussi pour l'eau acidulée, tandis que l'air humide les entame à peu près au même degré.

III. ACTION DE L'EAU ACIDULÉE.

Passons aux essais ayant pour but l'action de l'eau acidulée sans exposition à l'air.

Dans un premier essai de trois jours à 1/2 p. 100 d'acide concentré, l'eau fut renouvelée tous les matins, parce que l'action s'arrêtait presque entièrement dès la sixième heure; l'hydrogène du moins ne se dégageait plus d'une façon apparente. A la fin on a ajouté encore 1/4 p. 100 d'acide pour favoriser le décapage.

Voici les résultats de cet essai fait à Saint-Montan, du 5 au 8 avril :

Tableau F

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de la forge Verdié de Firminy.	1	212,3	212,0	0,3	Tous les aciers sont couverts d'un léger enduit noir, non odorant.
	2	263,8	263,7	0,1	
	3	265,8	265,4	0,4	
	4	280,6	280,0	0,6	
	5	262,5	261,8	0,7	
	6	294 6	293,5	1,1	
	7	270,7	269,9	0,8	
Acier de Saint-Montan chargé de manganèse et de silicium.	Plaque non trempée.	363,6	362,0	1,6	Léger enduit noir.
	Plaque trempée	367,0	362,9	4,1	Fort enduit noir, répandant l'odeur de l'hydrogene silicé.
Fonte noire de Saint-Montan pour acier Bessemer.	1	311,6	295,7	15,9	C'est de beaucoup la plaque la plus vivement attaquée; enduit graphiteux abondant et odorant.
Fonte au bois de Ruelle pour canons.	2	336,0	335,2	0,8	
Fonte grise pour poterie.	3	391,3	382,4	8,9	Attaque vive.
Fonte spéculaire manganésée de Saint-Montan.	Blanche cristalline.	723,4	721,9	1,5	

On voit que l'acier trempé est plus fortement attaqué que le même acier non durci. La comparaison des aciers n°s 5, 6, 7 de Firminy avec les n°s 1 à 4 de la même usine prouve que l'eau acidulée agit plus énergiquement sur les aciers carburés que sur les aciers doux. L'acier manganésé ordinaire de Saint-Montan, surtout la plaque trempée, est également davantage attaqué que les aciers purs de Firminy. Enfin la fonte compacte et pure de Ruelle s'oxyde beaucoup moins que les fontes n°s 1 et 3. La fonte spéculaire manganésée fait seule exception. Il semble que l'état cristallin ou plutôt la combinaison intime du carbone protège le fer manganésé contre l'action de l'acide. Cela est cependant singulier, puisque l'eau de mer agit, au con-

traire, plus vivement sur la fonte spéculaire que sur les autres fontes (tableau E).

Les essais suivants confirment d'ailleurs cette résistance de la fonte blanche à l'action de l'eau acidulée.

Du 17 au 27 juillet on a exposé les mêmes plaques pendant dix jours à l'eau chargée de 1/2 p. 100 d'acide concentré que l'on renouvela deux fois, c'est-à-dire les 19 et 21 juillet.

Les résultats sont consignés dans le tableau G.

Tableau G

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
Aciers recuits de la forge Verdié de Firminy.	1	gr. 236,0	gr. 234,8	gr. 1,2	Toutes les plaques étaient bien décapées.
	2	257,4	256,8	0,6	
	3	258,8	258,0	0,8	
	4	273,2	272,5	0,7	
	5	255,1	253,9	1,2	
	6	286,3	285,3	1,0	
	7	263,2	262,0	1,2	
Acier de Saint-Montan chargé de manganèse et de silicium.	Plaque non trempée	356,2	354,2	2,0	
	Plaque trempée.	356,1	350,8	5,3	Couvert d'un fort enduit noir.
Fonte noire de Saint-Montan pour acier Bessemer.	1	289,6	280,4	9,2	Fonte vivement attaquée; abondant enduit noir.
Fonte au bois de Ruelle pour canons.	2	329,9	326,9	3,0	
Fonte grise pour poterie.	3	377,5	371,7	5,8	
Fonte spéculaire manganésée de Saint-Montan.	Blanche cristalline.	720,0	719,0	1,0	

Cet essai montre, comme le précédent, que l'acier ordinaire de Saint-Montan est plus fortement entamé que les aciers purs de Firminy et que, parmi ces derniers, les aciers carburés sont les plus accessibles à l'action de l'acide. On voit également que la trempe favorise la

dissolution du fer par l'acide. Ce qui peut sembler singulier au premier abord, c'est que, dans cet essai comparé au précédent, les fontes sont relativement moins attaquées et les aciers davantage. Cela s'explique par les conditions un peu différentes de l'expérience.

Quoique le deuxième essai ait duré dix jours et le premier seulement trois, la proportion d'acide a été un peu plus élevée vers la fin de ce premier essai par suite du dernier 1/4 p. 100 ajouté en vue du décapage. En fait, sur 12 litres employés dans les deux cas, il y eut 70 grammes d'acide consommé dans le premier essai contre 60 dans le second. Grâce à la plus longue durée du dernier essai, l'air a dû agir aussi bien que l'acide. Or, comme pour l'air humide (essai C) les aciers sont presque aussi fortement oxydés que les fontes, on comprend que dans l'essai C il y ait une moindre différence entre les fontes et les aciers que dans l'essai F où l'acide a dû à peu près agir seul.

On a également soumis à l'eau acidulée sans exposition à l'air la catégorie des aciers de l'usine d'Unieux. L'opération a duré sept jours. La proportion d'acide fut de 25 grammes pour 4 litres (un peu plus de 1/2 p. 100), et l'eau fut renouvelée au même degré de force après le troisième jour.

L'expérience eut lieu du 28 août au 4 septembre. Voici les résultats :

Tableau H

ORIGINE des plaques.	NUMÉROS des plaques.	POIDS primitif.	POIDS final.	PERTES.	OBSERVATIONS.
		gr.	gr.	gr.	
Aciers recuits de l'usine Holtzer d'Unieux.	1	301,9	300,5	1,4	Une très faible rouille noire couvrait les plaques.
	2	326,1	324,4	1,7	
	2 *bis*	334,7	331,9	2,8	
	3	305,8	304,2	1,6	
	4	322,8	320,8	2,0	
	5	341,8	338,5	3,3	Cet acier chromé était couvert d'un épais enduit gris.
	6	340,3	339,0	1,3	
Aciers trempés de l'usine Holtzer d'Unieux.	1	315,7	313,9	1,8	Le dépôt noir est plus épais sur les plaques trempées que sur les plaques recuites.
	3	293,3	291,1	2,1	
	4	329,7	326,5	3,2	
	5	335,9	333,2	2,7	
Aciers de Montluçon doux.	1	148,9	148,0	0,9	
	2	161,9	161,4	0,7	
Aciers de Saint-Montan durs.	1	284,5	282,2	2,3	
	2	360,0	357,5	2,5	

Cet essai confirme les résultats fournis par les tableaux E et G. On voit, en effet, que les aciers *doux* de Montluçon sont aussi attaqués que les aciers durs et manganésés de Saint-Montan ; que l'acier chromé recuit s'oxyde, comme à l'air, plus facilement que les autres, et que, comme à l'air aussi, les aciers trempés simplement carburés sont plus oxydables que les mêmes aciers recuits, sauf l'acier chromé, dont la trempe diminue quelque peu l'oxydabilité.

En comparant ce tableau au tableau B, on voit aussi que, si les aciers *doux* sont moins oxydés par l'eau acidulée que les aciers *durs*, il n'en est pas de même de l'air humide dont l'action est peu modifiée par le degré de pureté ou de carburation, à part toujours l'acier chromé.

Résumons maintenant les conclusions tirées des tableaux

précédents, et comparons ensuite ces diverses données aux résultats constatés par les ingénieurs anglais.

On voit tout d'abord, en parcourant nos tableaux, que l'eau de mer et l'eau acidulée agissent autrement sur le fer que l'air humide; que par suite les études faites à l'aide de l'eau acidulée ne peuvent rien apprendre sur la corrosion exercée sur ce métal par l'action prolongée de l'air humide ou de l'eau de mer. Pour éviter toute erreur, il faut donc résumer séparément les résultats fournis par l'air humide et l'eau acidulée.

1° *Action de l'air humide.* — Les tableaux A, B, C et D prouvent que tous les aciers durs ou doux, à part l'acier chromé, sont sensiblement rouillés au même degré par l'air humide; que les fontes résistent mieux que les aciers et parmi elles la fonte blanche, manganésée, spéculaire (le *spiegel*) plus que les fontes grises.

Le chrome favorise la corrosion des aciers recuits, tandis que le tungstène produit plutôt l'effet contraire.

Quant à la *trempe*, les tableaux B et D sembleraient établir qu'elle favorise la rouille. Pour se prononcer à cet égard, une expérience plus prolongée est toutefois nécessaire, car dans les deux essais B et D l'eau acidulée intervient trop pour que l'on puisse positivement affirmer que la trempe favorise la rouille par l'air humide seul, abstraction faite de l'eau acidulée.

Les expériences de M. R. Mallet, dont les échantillons furent exposés pendant deux ans à l'air humide de Dublin, confirment ces conclusions. Les fontes résistent mieux à la rouille que les fers doux et les aciers; la fonte grise deux à trois et la fonte blanche cinq à six fois plus.

Entre les fers et les aciers il y aurait au fond peu de différence; cependant ces derniers, à l'état trempé, résisteraient un peu mieux que le fer doux.

M. Parker a, de son côté, soumis à l'air enfumé de Lon-

dres pendant quatre cent cinquante-cinq jours consécutifs diverses sortes de fer doux soit soudé, soit fondu, et tous destinés à la fabrication des chaudières et des coques de navires.

Ces expériences prouvent aussi que tous les fers se rouillent à peu près au même degré ; que cependant le fer soudé commun semblerait résister un peu mieux que le meilleur fer de Lowmoor et celui-ci un peu plus que le fer doux fondu, tenant 1/4 à 1/2 p. 100 de manganèse.

L'amirauté anglaise et l'ingénieur Phillips ont borné leurs expériences à l'eau distillée et l'eau de mer. Je n'ai donc pas à les citer ici.

2° *Action de l'eau de mer.* — Les tableaux E et E' font connaître les effets de l'eau de mer. Ces effets sont à quelques égards inverses de ceux de l'air humide. Ainsi les fontes sont plus attaquées que les aciers et parmi les fontes le métal spéculaire, riche en manganèse, l'est deux fois plus que les fontes grises ou noires de même origine, et la fonte phosphoreuse ordinaire pour poterie presque deux fois plus que la fonte pure au bois de Ruelle (tableau E).

Les tableaux E et E' prouvent aussi que l'eau de mer attaque moins fortement l'acier trempé que l'acier recuit, et que le manganèse favorise la corrosion des tôles d'acier. A part cela, l'action de l'eau de mer varie peu avec le degré de carburation des fers.

D'accord avec ces résultats, les essais de M. R. Mallet prouvent aussi que les fers et les aciers sont tous sensiblement entamés au même degré par l'eau de mer; par contre, les aciers, contrairement à mes observations, seraient corrodés plus profondément que les fontes. Cette divergence peut tenir à la nature plus manganésée des fontes soumises à mes essais et aussi à cette circonstance, signalée par M. Parker, que toutes les plaques de fonte employées par M. Mallet furent essayées *brutes*, telles

qu'elles sortaient des mains du fondeur, tandis que les fers et les aciers avaient subi, au préalable, comme dans nos essais, l'action de la lime ou de la meule sèche.

Quant à l'intensité absolue de l'oxydation des aciers et des fers par l'eau de mer, elle serait, selon M. R. Mallet, un peu moindre que celle que provoque l'air humide dans le même temps ; et, d'autre part, près de neuf fois plus intense que celle qui est due à l'eau douce des rivières.

Il convient toutefois de rappeler à ce sujet que l'action de l'air humide varie avec le climat et la saison et celle de l'eau avec la profondeur au-dessous de la surface. Je dois rappeler aussi qu'en Angleterre les constructeurs de navires ont tous reconnu que les tôles sont surtout corrodées le long de la ligne de flottaison et que les points qui sont tour à tour mouillés par l'eau de mer, puis exposés à l'air, s'attaquent plus que ceux qui restent toujours au-dessous du niveau de l'eau. Un fait tout à fait analogue s'observe journellement dans les chaudières. On sait que la corrosion des tôles se fait surtout là où l'eau d'alimentation amène sans cesse avec elle de l'air frais en dissolution.

MM. Parker et Phillips ont étudié l'action de l'eau de mer sur les tôles des navires et celle de l'eau distillée sur les parois des chaudières à vapeur. Ils ont principalement comparé la tôle soudée à l'acier fondu extra-doux.

Leurs expériences, d'accord avec les nôtres et avec la pratique des constructeurs anglais, prouvent qu'il n'y a pas grande différence entre les fers et les aciers doux au point de vue de la corrosion des coques de navires par l'eau de mer et celle des chaudières par l'eau distillée.

Il semblerait cependant que l'eau, comme l'air humide, attaquerait un peu plus l'acier doux que le bon fer de Lowmoor ou le fer soudé commun, mais la différence entre les extrêmes ne paraît pas dépasser 5 à 6 p. 100 en moyenne. Aussi, malgré cette légère infériorité, donne-t-on

la préférence à l'acier doux à cause de son homogénéité, de sa ductilité et de sa force de résistance plus grandes. Une précaution toutefois est indispensable : il faut *décaper* les tôles avant leur emploi, sinon les croûtes oxydées, laissées comme des taches isolées à la surface du métal, tendent à favoriser, par voie galvanique, la corrosion des parties voisines non protégées par l'enduit oxydé. L'action de ces croûtes est presque aussi funeste que celle d'une pièce de cuivre rivée sur le fer, et même les morceaux de zinc que l'on emploie souvent comme protecteurs galvaniques ne neutralisent pas entièrement la fâcheuse influence des taches oxydées.

3° *Action de l'eau acidulée.* — L'eau acidulée est surtout remarquable en ce que, contrairement à l'eau de mer, elle attaque plus fortement les aciers carburés et impurs que les aciers doux, et les aciers trempés plus que les aciers recuits. Il faut donc éviter, même pour le simple décapage, l'emploi de l'eau acidulée dans les essais de rouille par l'air humide. On s'expose à vicier les résultats, comme nous l'avons dit à l'occasion des essais rapportés dans les tableaux B, C et D.

La présence du chrome favorise la corrosion par l'eau acidulée comme par l'air humide et l'eau de mer.

Quant à l'action de l'eau acidulée sur les fontes, elle varie avec la compacité de ces fontes et le mode de combinaison des éléments.

Les fontes grises graphiteuses sont facilement entamées, tandis que les fontes blanches le sont plutôt moins que les aciers. Ainsi, d'une manière générale, l'eau acidulée agit autrement que l'air humide et l'eau de mer. On ne peut donc rien conclure, au point de vue de l'oxydation opérée par l'air ou l'eau de mer, des essais basés sur l'emploi de l'eau acidulée; aussi ai-je eu tort de penser, à la suite des essais de M. Adamson, que l'air humide devait d'autant

plus rapidement détruire les rails qu'ils étaient plus durs. En fait, ces essais n'apprennent rien sur l'usure des rails; il faut des expériences plus prolongées, par l'action directe de l'air humide proprement dit, pour pouvoir se prononcer.

En attendant qu'elles soient terminées, il faut donc plutôt admettre, d'après les expériences de MM. Mallet et Parker, que la dureté de l'acier paraît avoir peu d'influence sur le degré d'oxydabilité des aciers par l'air humide. Malgré cela, il est bien évident que si les rails s'usent plus vite dans les tunnels qu'au dehors, cela est surtout dû à la chaleur humide qui y favorise la rouille.

4° *Expériences de M. Brustlein, directeur des forges d'Unieux.* — Je citerai, comme complément de mes études, quelques essais intéressants analogues entrepris par M. Brustlein, directeur des forges d'Unieux.

Cet ingénieur a cherché à déterminer l'influence du manganèse sur les propriétés de l'acier. Il a préparé au creuset trois lingots d'acier fondu, tenant 6 millièmes de carbone et respectivement 1,737, — 1,188 et 0,434 p. 100 de manganèse.

Il a d'abord constaté que la densité et la rigidité croissaient avec le manganèse. Les barrettes, essayées sous le choc du mouton, prennent une flèche d'autant moins forte que la teneur en manganèse est plus grande. D'autres barrettes, de 13 millim. de diamètre et de 100 millim. de longueur entre les repères, ont donné à la traction les résultats suivants :

LINGOTS tenant Mn.	CHARGE élastique.	CHARGE de rupture.	ALLONGEMENT.	DIAMÈTRE du fuseau contracté.	OBSERVATIONS.
p. 100	kilog.	kilog.	p. 100	millim.	
1,737	48,9	88,2	17,0	9,6	Nerf noir avec cercle plus clair au centre.
1,188	44,8	78,2	18,6	9,5	
0,434	39,4	66,8	22,4	9,8	Nerf gris uniforme.

Des barrettes de ces trois mêmes lingots furent suspendues, les unes pendant cent douze jours dans le carneau d'une chaudière Galloway, les autres durant le même temps au milieu de l'eau même de la chaudière, loin du point d'arrivée de l'eau d'alimentation. Leur poids resta sensiblement le même, mais celles des carneaux étaient couvertes d'une légère pellicule d'oxyde magnétique et celles de la chaudière d'un dépôt boueux brun de 1 à 2 millim. d'épaisseur, sous lequel se trouvait un enduit noir charbonneux pareil à celui qui couvre les aciers attaqués par l'eau acidulée. On soumit de nouveau les barrettes aux essais de traction. Or, voici les résultats constatés :

BARRETTES des carneaux, tenant Mn.	CHARGE élastique.	CHARGE de rupture.	ALLONGEMENT.	DIAMÈTRE du fuseau contracté	OBSERVATIONS.
p. 100	kilog.	kilog.	p. 100	millim.	
1,737	41,8	69,1	16,2	8,8	Nerf gris foncé.
1,188	38,0	64,7	21,3	8,7	
0,434	30,7	58,7	13,7	9,3	Nerf gris.

BARRETTES plongées dans l'eau, tenant Mn.	CHARGE élastique.	CHARGE de rupture.	ALLONGEMENT.	DIAMÈTRE du fuseau contracté.	OBSERVATIONS.
p. 100	kilog.	kilog.	p. 100	millim.	
1,737	41,8	80,2	15,3	9.4	Nerf gris foncé.
1,188	40,1	73,5	15,7	10,8	Grain gris.
0,434	32,1	63,4	14,0	10,7	

On voit que le métal a souffert dans l'eau, comme dans le conduit de fumée, et même l'acier doux plus que le métal manganésé. Il est devenu moins ductile et à grains.

C'est un point que les constructeurs de chaudières feront bien de ne pas perdre de vue, car la tôle d'acier perd réellement à la longue une partie de sa ténacité et de sa flexibilité.

M. Brustlein a aussi constaté que l'eau acidulée dissout d'autant plus vivement le métal qu'il renferme plus de manganèse. Mais on ne saurait en conclure, comme on l'a vu, que l'eau douce des chaudières agirait de même; cependant puisque le manganèse, d'après les essais précédemment cités, favorise réellement l'action de l'eau douce ou saline sur les aciers, il n'en demeure pas moins établi qu'il faut faire entrer aussi peu de manganèse que possible dans les aciers doux pour tôles de chaudières et coques de navires.

Saint-Montan, mars 1883.

NOTE

SUR

L'INDICATEUR DU GRISOU DE M. E. H. T. LIVEING

Par MM. Er. MALLARD et LE CHATELIER, ingénieurs des mines.

Dans le mémoire (*) qu'a publié ce recueil et où nous avons passé en revue les divers appareils proposés pour déceler la présence du grisou dans l'atmosphère des mines, nous avons mentionné celui qu'avait imaginé par un ingénieur anglais, M. Liveing; mais nous avions dû nous borner à une mention sommaire, parce qu'au moment de la rédaction de notre travail, le principe seul de l'appareil avait été publié par son auteur.

Nous avons depuis ce temps pu expérimenter sur un des appareils livrés à l'industrie par le constructeur de M. Liveing (**).

Nous rappellerons que le principe de l'instrument est fondé sur ce fait qu'un fil de platine porté au rouge par un courant électrique émet, toutes choses égales, une lumière plus intense lorsqu'il est plongé dans une atmosphère contenant une petite quantité d'un gaz inflammable que lorsqu'il est plongé dans l'air pur. Cela tient évidemment à ce que le gaz vient brûler autour du fil et accroît ainsi la température de celui-ci en diminuant la perte de chaleur par rayonnement.

(*) *Annales des mines*, 7e s., t. XIX, p. 191, 1881.

(**) L. Clark, Muirhead and Co, manufacturers, Regency-Street, S. W. Westminster.

On conçoit d'ailleurs que l'effet augmente avec la quantité de gaz inflammable, et qu'on puisse, si l'on trouve un procédé pour apprécier l'éclat lumineux du fil, apprécier par là même la quantité de grisou contenue dans l'air, en se basant sur des essais préalables faits avec des mélanges connus.

L'appareil de M. Liveing est représenté en coupe Pl. I, *fig.* 1, et en perspective *fig.* 2. Le courant électrique est donné par une petite machine magnéto-électrique contenue dans l'appareil lui-même et que l'on met en action en tournant à la main la manivelle M, *fig.* 2.

L'appareil est tenu appuyé contre le corps, de manière que l'on puisse regarder, tout en tournant la manivelle, par la fenêtre F, fermée d'une plaque de verre.

Le courant électrique traverse les deux fils de platine *f* et *f'* qu'il rougit. Le fil *f'* est enfermé dans un tube en verre complètement clos, de manière que l'air extérieur n'y puisse pénétrer. Le tube *f* est, au contraire, plongé dans un tube formé par un cylindre en toile métallique terminé par une calotte en verre; il est donc à chaque instant plongé dans l'air qui enveloppe l'appareil et qui pénètre librement par les ouvertures *o* et *o'*.

Il résulte de cette disposition que, si l'atmosphère contient un gaz inflammable, le fil *f* devient plus lumineux que le fil *f'*. Il faut donc comparer les éclats de ces deux fils. On se sert à cet effet d'une sorte de borne B terminée à sa partie supérieure par deux surfaces planes et blanches taillées à 45°. L'une de ces faces reçoit la lumière du fil *f'* et l'autre du fil *f*.

Si la distance de la borne B aux deux fils était la même, et si les deux fils avaient la même intensité lumineuse, les deux faces planes auraient le même éclat.

Lorsque l'atmosphère contient un gaz inflammable, le fil *f* devient plus lumineux que le fil *f'*, et pour rétablir l'égalité d'éclat des deux faces planes inclinées il faut éloi-

gner la borne B du fil f en la rapprochant du fil f'. On déplace la borne B en tournant la vis V. Une échelle divisée l, qu'éclairent suffisamment les fils de platine, mesure le déplacement de la borne.

On conçoit donc qu'au moyen d'essais préalables, faits dans une atmosphère connue, on puisse déterminer le point de l'échelle où il faut amener la borne pour rétablir l'égalité d'éclat des deux faces inclinées, lorsque l'atmosphère contient des quantités connues d'hydrogène protocarboné.

Les expériences préliminaires se font aisément en introduisant dans la boîte, au moyen de deux tubes O et O', un air contenant des proportions déterminées de gaz hydrogène protocarboné.

L'échelle est sujette à se déplacer un peu, mais rien n'est plus aisé que de la ramener dans sa position en faisant une opération dans l'air pur.

Nous avons fait quelques essais, dans notre laboratoire, avec l'ingénieux appareil de M. Liveing. Nous avons vérifié qu'il était, en effet, très facile de constater l'inégal éclat des deux fils. Toutefois il y a quelque incertitude sur le moment exact où l'égalité d'éclairement est obtenue; cette incertitude nous a paru de nature à affecter l'observation de 0,3 à 0,5, c'est-à-dire à causer une erreur de 3 à 5 millièmes dans le dosage du gaz.

D'après les essais que nous avons faits, on atténuerait cet inconvénient et on diminuerait notamment l'incertitude de l'observation en fermant la fenêtre par laquelle on observe la borne B avec un verre rouge sensiblement monochromatique. Les deux fils, portés à des températures différentes, n'émettent pas en effet de la lumière ayant la même teinte, ce qui nuit dans l'observation de l'égalité lumineuse des surfaces éclairées respectivement par chacun de ces fils. Lorsqu'on se sert d'un verre rouge il faut, bien entendu, construire une nouvelle échelle; celle que porte l'appareil ne peut plus servir.

Quant à la découverte de faibles quantités de gaz égales à 0,5 p. 100 ou au-dessous, nous croyons que la difficulté d'apprécier l'égalité d'éclairement la rendra très difficile et à peu près impossible dans la pratique. Nous avons vu, en effet, que l'incertitude de cette appréciation pouvait atteindre 0,5 p. 100.

Quoi qu'il en soit, l'appareil de M. Liveing nous paraît de nature à rendre de réels services au mineur en lui permettant de doser avec quelque exactitude la quantité de grisou contenue dans l'air d'une galerie et particulièrement d'une galerie de retour d'air. C'est, en effet, par un semblable dosage qu'on peut le plus rapidement apprécier l'état de la sécurité générale des travaux. Nous ne pensons pas que l'appareil de M. Liveing ou d'autres semblables puissent être employés utilement, au moins d'une manière correcte, pour apprécier la quantité de grisou, variable à chaque instant, qui peut se trouver au chantier.

Dans cette partie des travaux, l'examen attentif de la lampe de sûreté nous paraît être encore ce qu'il y a de mieux à recommander au mineur.

Nous souhaitons donc que l'appareil de M. Liveing soit essayé dans la pratique et comparé soit avec l'appareil de M. Coquillion, soit avec celui que nous avons indiqué nous-mêmes dans notre mémoire.

Nous croyons cependant devoir, en terminant, conseiller de n'employer l'appareil de M. Liveing que dans les parties de la mine, telles que les galeries de retour d'air, où les lampes montrent de la manière la plus claire que le milieu ambiant n'est pas explosif. A notre avis, tout appareil électrique dans lequel il peut se produire, au moins accidentellement, des étincelles, doit inspirer, dans les parties dangereuses des mines à grisou, une grande méfiance.

SUR LES LAMPES DE SURETÉ

A PROPOS

DES RÉCENTES EXPÉRIENCES DE M. MARSAUT

Par MM. Er. MALLARD et LE CHATELIER, ingénieurs des mines.

M. Marsaut, l'habile ingénieur qui dirige les houillères de Bessèges, vient de faire connaître, dans diverses publications, les résultats de très nombreuses observations faites par lui sur les lampes de sûreté. Il a annoncé, entre autres faits intéressants, qu'en plongeant lentement une lampe Mueseler, élevée de bas en haut, dans une cloche remplie d'un mélange détonant de gaz d'éclairage et d'air, la flamme peut quelquefois se propager au dehors.

L'annonce d'un pareil fait a vivement ému les mineurs de tous les pays, qui s'étaient habitués à considérer la lampe Mueseler comme présentant, au moins dans la pratique, une sécurité à peu près absolue. Bien que la tâche dont la Commission du grisou nous avait fait l'honneur de nous charger ait naturellement pris fin avec l'existence même de cette Commission, nous avons cru de notre devoir de répéter, en variant les conditions, les observations de M. Marsaut. Nous y avons d'ailleurs été loyalement invités par l'auteur lui-même, qui s'est mis à notre disposition avec une entière obligeance, qui a bien voulu répéter devant nous quelques-unes de ses expériences et qui nous a tenus au

courant de ses observations à mesure qu'elles étaient faites. Il a même poussé la gracieuseté jusqu'à nous communiquer le manuscrit du mémoire étendu dans lequel il expose ses recherches et qui, bien que devant être prochainement publié, n'a pas encore vu le jour au moment où nous écrivons.

Nous nous proposons ici de faire connaître aux lecteurs de ces *Annales* les principaux résultats des recherches de M. Marsaut ainsi que ceux des recherches personnelles que nous avons entreprises pour les vérifier. Nous profiterons en outre de l'occasion qui nous est ainsi offerte pour exposer quelques principes qui peuvent guider dans la construction des lampes de sûreté et qui résultent, au moins en partie, de nos recherches sur l'inflammation des mélanges détonants ; nous ajouterons enfin quelques observations que nous avions communiquées à la Commission du grisou, mais qui n'ont reçu qu'une publicité restreinte ou même nulle.

PRINCIPES GÉNÉRAUX APPLICABLES AUX LAMPES DE SURETÉ

Propagation de l'inflammation dans un espace enceint par une toile métallique. — Imaginons une toile métallique, de forme sphérique, plongée dans un milieu détonant, et au centre de laquelle on porte l'inflammation. Celle-ci se propage par zones successives, que nous pouvons supposer sphériques si rien ne vient altérer la régularité du phénomène.

A l'origine, cette propagation se fait avec une certaine vitesse spécifique propre à chaque mélange détonant ; mais en même temps que l'inflammation progresse, le gaz intérieur se dilate et cette dilatation, qui tend à reculer du centre la zone enflammée, accroît la vitesse de propagation.

Le gaz, qui est à l'intérieur de la toile sphérique, aug-

mentant de volume, la pression intérieure s'accroît et le gaz s'écoule à travers les mailles de la toile. La vitesse avec laquelle se fait cet écoulement dépend à la fois de la grandeur des orifices et du volume de gaz brûlé qui est formé dans un temps donné. Elle est donc, toutes choses égales, d'autant plus grande que la vitesse spécifique de propagation de l'inflammation propre au mélange gazeux est plus considérable. Elle va d'ailleurs sans cesse en croissant, car le volume de gaz brûlé est proportionnel à la surface de la sphère atteinte par l'inflammation et par conséquent au carré du rayon de cette sphère.

Si une partie de la surface de la toile est supposée pleine, l'orifice d'écoulement diminue, la pression intérieure s'accroît et la vitesse d'écoulement devient plus grande.

Lorsque la flamme vient en contact avec la toile, elle est animée d'une vitesse égale à la vitesse d'écoulement du gaz à cet instant. Or, on sait qu'une flamme qui vient rencontrer une toile métallique avec une certaine vitesse n'est arrêtée par elle que lorsque la vitesse est inférieure à une certaine valeur V.

Cette vitesse V dépend de la grandeur des mailles de la toile, des propriétés du mélange détonant et spécialement de la vitesse spécifique de propagation de l'inflammation qui lui est propre.

Nous avons trouvé expérimentalement que pour le mélange le plus explosif formé par l'air et le grisou, la vitesse V est à peu près 1,4 fois plus grande que pour le mélange le plus explosif formé par l'air et le gaz d'éclairage parisien (*).

(*) Voici quelques détails sur ces expériences qui sont encore inédites.

Un tube en verre de 16 millim. de diamètre est percé latéralement de deux orifices circulaires placés en regard, dans lesquels on engage un petit cylindre de toile métallique dont l'axe se

Si la vitesse d'écoulement du gaz à travers la toile, au moment où la flamme vient atteindre celle-ci, est supérieure à V, la toile est insuffisante à arrêter l'inflammation qui se propage au dehors.

Il est clair, d'après ce qui précède, que le passage de la flamme à travers la toile est d'autant plus à redouter :

1° Que le volume gazeux enfermé par la toile métallique est plus considérable ;

2° Que les orifices d'écoulement ouverts au gaz sont plus petits ;

3° Que le mélange détonant possède une vitesse spécifique de propagation plus considérable. Cette vitesse influe doublement et dans le même sens. Quand elle croît, en effet, elle augmente la vitesse avec laquelle le gaz s'écoule à chaque instant, en même temps qu'elle diminue la va-

---

trouve ainsi perpendiculaire à celui du tube. Dans l'intérieur de ce cylindre de toile, on dispose deux fils métalliques à travers les extrémités desquels on fait jaillir une étincelle.

On fait circuler dans le tube de verre un mélange gazeux explosif dont la vitesse, connue à chaque instant, peut être graduellement augmentée. Le gaz vient s'enflammer au contact de l'étincelle et brûle dans l'intérieur du cylindre de toile. Lorsque la vitesse de courant gazeux est suffisante, on voit la flamme traverser la toile.

Dans ces conditions, lorsqu'on opère avec le mélange le plus explosif d'air et d hydrogène protocarboné, la toile se laisse traverser par la flamme au moment où la vitesse du courant gazeux dans le tube étroit est égale à 2 mètres environ. Le phénomène n'est cependant pas instantané; il ne se produit qu'au bout de 4 à 5 secondes, qui sont employées à l'échauffement préalable de la toile.

Lorsqu'on opère avec le mélange le plus explosif formé par l'air et le gaz d'éclairage, le passage de la flamme se produit au bout de 12 secondes pour une vitesse de 0m.81 ; au bout de 4 secondes, pour une vitesse de 1m.4; au bout de 2 secondes, pour une vitesse de 2m.6. Avec la vitesse de 3m.5, le passage de la flamme est presque instantané.

Si l'on compare, pour les deux mélanges gazeux, les vitesses qui font passer la flamme à travers la même toile, et au bout du même temps, on voit qu'elles sont entre elles à peu près dans le rapport de 2 à 1,4 ou de 1,4 à 1.

leur V de la vitesse que la flamme ne doit point dépasser pour que la toile puisse l'arrêter.

Le danger décroît donc rapidement avec la vitesse spécifique de propagation propre au mélange détonant.

De nombreuses expériences nous ont permis de fixer à 0m,70 environ la vitesse de propagation propre au mélange le plus détonant d'air et de gaz hydrogène protocarboné (*). Pour le mélange le plus détonant d'air et de gaz d'éclairage (**), cette vitesse est égale à 1m,10 environ.

En opérant avec des mélanges de gaz d'éclairage et d'air, on se place donc dans des conditions où la sécurité que procure une toile métallique est beaucoup plus faible que celle que procure la même toile lorsqu'on opère avec des mélanges d'hydrogène protocarboné et d'air. Or, on n'a jamais trouvé dans les mines de houille aucun mélange gazeux notablement plus détonant que l'est l'hydrogène protocarboné.

Causes de variations irrégulières dans la vitesse de propagation de l'inflammation. — Jusqu'ici nous avons supposé que l'inflammation se propageait régulièrement. Or, les expériences déjà anciennes de MM. Schlœsing et de Montdésir ainsi que les nôtres ont montré que cette régularité théorique de la propagation ne se réalise presque jamais.

La vitesse de propagation est, en effet, toujours accrue par les circonstances, quelles qu'elles soient, qui tendent à mettre le gaz en mouvement, et qu'il est bien difficile d'éviter complètement. Cet accroissement, très variable d'ailleurs, peut atteindre une valeur d'autant plus grande

---

(*) Ce mélange est formé par 21,2 p. 100 d'air pur. Cette proportion est sujette à varier avec la composition, peu constante, du gaz d'éclairage.

(**) Ce mélange est formé par 12,2 d'hydrogène carboné p. 100 d'air pur.

que la vitesse spécifique de propagation est plus considérable.

Avec le mélange tonnant d'hydrogène et d'oxygène, dont la vitesse spécifique est de 20 mètres environ, l'accroissement peut être tellement grand que la propagation arrive à se faire avec une vitesse de plus de 2.000 mètres par seconde, comme l'ont observé MM. Berthelot et Vieille; la propagation, relativement inoffensive, se transforme alors en une explosion redoutable. L'accroissement est bien moindre avec des mélanges d'air et de gaz d'éclairage; moindre encore avec des mélanges d'air et d'hydrogène protocarboné.

On constate aisément ces variations de la propagation en observant celle-ci dans un tube en verre. Lorsqu'on remplit d'un mélange détonant d'air et d'hydrogène protocarboné un tube en verre ouvert par les deux bouts et qu'on enflamme le mélange à l'une des extrémités du tube, on voit la flamme se mouvoir d'abord avec une vitesse très régulière et uniforme; après un certain parcours, et lorsque l'onde comprimée émise par la tranche en combustion est venue, après s'être réfléchie à l'extrémité libre, mettre en mouvement le gaz non brûlé, on voit la flamme vibrer et la vitesse de propagation devenir irrégulière et plus rapide.

En opérant avec un mélange très photogénique de sulfure de carbone et d'air, dont la vitesse spécifique de propagation est égale à 1m,10 environ, on peut obtenir des épreuves photographiques instantanées qui montrent encore plus clairement toutes les particularités du phénomène.

Lorsqu'au lieu d'être ouvert aux deux bouts le tube est fermé à une extrémité et que l'inflammation est mise du côté de cette extrémité bouchée, la dilatation du gaz brûlé met à chaque instant en mouvement toute la masse gazeuse; la vitesse de propagation va alors sans cesse en

s'accélérant, et cette accélération bien plus considérable que dans le cas précédent est généralement assez grande pour qu'il se produise une véritable explosion.

Ces phénomènes jouent un grand rôle dans l'explication des phénomènes explosifs produits par les mélanges gazeux inflammables et plus généralement par toutes les substances détonantes. Ils peuvent être rapportés à la cause suivante.

Lorsque le gaz qui brûle est au repos, la vitesse spécifique de propagation peut être considérée comme variant proportionnellement au rapport $\frac{T-t}{t-t_0}$ (*) ; T étant la température de combustion, t la température d'inflammation et t_0 la température initiale du gaz.

Une tranche enflammée, en se dilatant, comprime la tranche voisine et en augmente ainsi considérablement la température; mais cet effet se dissipe avec la même rapidité que la compression qui l'a produite et n'a, au moins dans les mélanges à vitesse spécifique lente, aucune influence sur la propagation, car l'onde de compression se propage avec une vitesse qui est de l'ordre de celle du son et qui est ainsi beaucoup plus grande que la vitesse spécifique de propagation de l'inflammation.

Supposons, au contraire, le gaz agité par un mouvement irrégulier; il pourra arriver à un certain moment que la vitesse des molécules gazeuses s'ajoute à la vitesse spécifique de propagation; il pourra se faire alors qu'une tranche garde encore une certaine compression au moment où elle est atteinte par l'inflammation. La compression, augmentant la température, produit un accroissement de t_0, une diminution de $t - t_0$ et par conséquent un accroissement de la vitesse de propagation. La tranche suivante, étant atteinte plus tôt par l'inflamma-

(*) V. *Annales des mines*, 7e sér., t. VII, 1875.

tion, aura encore un t_0 plus élevé, et la vitesse spécifique s'accroîtra encore. On voit que cette augmentation de la vitesse peut aller ainsi en croissant en quelque sorte indéfiniment et, surtout si la vitesse spécifique initiale est assez grande, il peut même arriver un moment où t_0 est égal à t. La vitesse de propagation devient alors infinie, c'est-à-dire que la compression produite par l'inflammation d'une tranche sur la tranche voisine, portant cette tranche à la température même de l'inflammation, la flamme se propage avec la vitesse même de l'onde de compression, vitesse qui est de l'ordre de celle du son. C'est ainsi que l'onde explosive de MM. Berthelot et Vieille prend naissance (*).

Quoi qu'il en soit, on voit que cet effet, dépendant des vitesses relatives des molécules enflammées et des molécules voisines, est extrêmement variable; et l'on comprend combien, dans les expériences où intervient la propagation de l'inflammation dans un mélange gazeux, il est difficile de rendre rigoureusement comparables entre elles deux expériences successives et faites en apparence dans des conditions identiques.

Notre explication montre en outre pourquoi les variations sont plus grandes lorsque la vitesse spécifique de propagation est plus grande et inversement.

On conclut de là que lorsqu'on cherche à apprécier expérimentalement le degré de sécurité d'une certaine combinaison de toiles métalliques la flamme peut, dans des expériences en apparence identiques, tantôt être arrêtée par la flamme, tantôt la traverser. Une seule expérience négative n'est jamais tout à fait concluante.

Il résulte aussi des mêmes faits qu'une certaine disposition de toiles métalliques pourra se comporter très diffé-

---

(*) Nous reviendrons sur cette théorie délicate, avec les détails nécessaires, dans un mémoire spécial que contiendra un des prochains numéros de ces *Annales*.

remment suivant la manière dont on produira l'inflammation que ces toiles ont pour but d'arrêter.

Prenons, par exemple, un tube rempli de gaz détonant, communiquant librement par l'une de ses extrémités avec l'atmosphère et fermé à l'autre par une toile métallique. Si l'on enflamme par l'extrémité ouverte, la vitesse de propagation dans le tube ira en s'accélérant, mais assez faiblement, et, si le tube n'est pas trop long, la toile pourra arrêter la flamme. Si, au contraire, le tube est fermé à l'extrémité où l'on met le feu, la vitesse de propagation s'accroîtra considérablement et très vite, et, à moins que le tube ne soit très court, la toile sera presque toujours traversée par la flamme.

Application des principes précédents aux lampes de sûreté. — Appliquons ces principes à une lampe de sûreté qui comprend un réservoir inférieur à huile surmonté par un ensemble plus ou moins complexe dans lequel figure toujours une toile métallique formant chapeau.

Si l'on suppose la lampe, pleine d'air pur, portée brusquement dans un milieu détonant au repos, le gaz envahit lentement la lampe en se substituant peu à peu, soit par simple diffusion, soit par le mouvement qu'amène l'alimentation de la flamme, à l'air qui la remplissait précédemment. Dès que le mélange est devenu inflammable à l'intérieur, il s'allume à la flamme de la mèche; mais l'inflammation qui se produit dans ces conditions est en général arrêtée par la toile métallique parce que le mélange gazeux prend feu avant de s'être chargé d'une quantité de gaz détonant assez considérable pour acquérir une vitesse de propagation dangereuse. La sécurité est d'ailleurs complétée par les gaz provenant de la combustion de l'huile et dont la présence diminue encore l'explosibilité du mélange.

Les conditions sont tout autres lorsqu'on introduit gra-

duellement la lampe dans le milieu détonant en l'élevant de bas en haut, de manière à y faire pénétrer d'abord le chapeau de toile métallique.

Si, comme cela arrive d'ordinaire, l'alimentation de la lampe peut pendant ce mouvement continuer à se faire, à un niveau inférieur, dans un air pur ou relativement pur, toute la partie supérieure de la lampe peut se remplir d'un mélange détonant très explosif avant que celui-ci vienne en contact avec la flamme. Lorsque ce contact aura lieu, l'inflammation, se propageant avec une grande vitesse, peut ne pas être arrêtée par la toile et être projetée au dehors.

Cette action est évidemment d'autant plus à redouter que la flamme de la mèche est tenue plus basse et cela pour deux raisons :

1° Parce que le mélange gazeux vient plus tard en contact avec la flamme et que la masse gazeuse qui fait explosion sera ainsi plus considérable;

2° Parce que les produits de la combustion, presque nuls, ne vienne pas diminuer l'explosibilité du mélange.

Tel est le genre de danger, qui n'était point complètement passé inaperçu, mais sur lequel on avait peu insisté avant les expériences de M. Marsaut qui a appelé sur ce point toute l'attention des mineurs.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

APPAREILS EMPLOYÉS POUR LES EXPÉRIENCES.

Premier appareil de M. Marsaut. — Les premières expériences de M. Marsaut ont été faites avec l'appareil représenté Pl. I, *fig.* 9, 10 et 11. Il se compose essentiellement d'une cloche en verre renversée et fixée entre deux tringles mobiles portant un plateau sur lequel repose, par l'inter-

médiaire d'un tasseau, la lampe à expérimenter. Au moyen d'un tube T on fait arriver du gaz d'éclairage sous la cloche; lorsqu'on juge que le gaz est en quantité suffisante, on soulève le plateau de manière à faire pénétrer la lampe dans l'intérieur de la cloche. On opère la nuit pour rendre plus facile l'observation des phénomènes d'inflammation.

Ce mode d'opérer a l'avantage d'être très simple et il permet de confier les expériences à un ouvrier un peu soigneux, ce qui donne la possibilité de les multiplier considérablement. Il se rapproche d'ailleurs beaucoup des conditions mêmes qui sont réalisées dans la pratipue courante lorsqu'on emploie la lampe de sûreté à reconnaître le gaz qui peut s'être accumulé dans une cloche du toit. La différence, et elle est considérable, est dans la nature du gaz inflammable que l'on emploie. A cause des grandes quantités de gaz nécessaires, on est en effet obligé de recourir au gaz d'éclairage beaucoup plus dangereux que celui des houillères.

En revanche, ce procédé d'expérimentation a l'inconvénient très grave de ne pas permettre une définition exacte des conditions de chaque observation. D'une expérience à une autre, en effet, tout varie à la fois, la composition du gaz de la cloche au point où l'on arrête la lampe, la vitesse plus ou moins grande avec laquelle la lampe est élevée ou abaissée, la hauteur de la flamme de la mèche. Or, chacune de ces circonstances peut avoir une influence considérable sur le résultat. Aussi est-on obligé de suppléer autant que possible à cette imperfection en multipliant considérablement le nombre des observations. Chaque observation, étant faite en quelque sorte au hasard, ressemble au tirage d'un numéro dans une urne. Pour savoir avec certitude si cette urne contient ou ne contient pas un numéro donné, il faut évidemment un nombre extrêmement grand de tirages.

Encore la comparaison pèche-t-elle par un point, car dans cette espèce de jeu de hasard la probabilité peut être faussée par une cause d'erreur constante, comme le serait une manœuvre inconsciente de l'ouvrier arrêtant toujours la lampe, par exemple, dans un endroit de la cloche où le mélange serait toujours peu explosif. Lorsqu'on a constaté, au cours des expériences ainsi conduites, que la flamme sort de la lampe, on peut affirmer la possibilité du phénomène ; mais un nombre même très grand d'expériences négatives laisse toujours quelque doute sur la question de savoir si la projection de la flamme hors de la lampe est réellement impossible.

Appareil employé par les auteurs de ce mémoire. — Lorsque M. Marsaut eut bien voulu nous communiquer les résultats de ses premières expériences et nous prier de les répéter, nous ne pûmes avec notre gaz d'éclairage parisien reproduire tous les faits qu'il avait observés, bien que M. Marsaut lui-même ait eu l'obligeance de diriger nos premiers essais. Nous n'avions d'ailleurs pas le moyen de faire des milliers d'observations en quelque sorte automatiques. Nous songeâmes alors à modifier le procédé d'expérimentation. Nous ne cherchâmes plus à nous placer dans des conditions analogues à celles de la pratique, mais nous nous attachâmes à réaliser les conditions suivantes :

1° Rendre les expériences aussi comparables que possible ;

2° Aggraver toutes les causes de danger qui peuvent se rencontrer dans la pratique, de manière que, s'il ne soit pas permis de dire qu'une lampe qui se montrerait défectueuse dans les expériences se montrerait telle entre les mains des mineurs, il soit au moins permis d'affirmer qu'une lampe qui se montrerait sûre dans les expériences le serait aussi dans l'intérieur des houillères.

A cet effet nous supprimons la mèche dont la combustion est un élément de sécurité, mais un élément variable puisqu'il change avec la hauteur de la flamme. Nous la remplaçons par deux fils métalliques placés en regard et entre les extrémités recourbées desquels on peut faire passer au moment voulu une étincelle électrique. Les fils passent à travers un bouchon qui ferme le porte-mèche et qui est aussi traversé par un tube communiquant au dehors. La lampe est placée dans une petite cage en bois fermée d'un côté par une vitre et surmontée par un chapeau mobile percé d'un trou central. Par le tube du bouchon on fait arriver le mélange gazeux sur lequel on veut opérer et qui est, soit le mélange le plus détonant d'hydrogène protocarboné et d'air, soit le mélange le plus détonant de gaz d'éclairage et d'air. On continue ce dégagement assez longtemps pour qu'on soit assuré que l'intérieur de la lampe et la cage elle-même sont remplis par le mélange détonant. On provoque alors l'étincelle électrique.

On voit qu'ainsi toutes les causes de danger sont bien réellement exagérées puisqu'on a supprimé tous les produits de la combustion et que, au moment où l'étincelle jaillit, la lampe *tout entière* est remplie du mélange détonant *le plus explosif;* tandis que dans la pratique le mélange détonant, de composition toujours très variable, ne remplit que la partie de la lampe qui est au-dessus de la flamme de la mèche.

Nous fîmes connaître notre procédé expérimental à M. Marsaut en le priant de l'essayer de son côté, ce qu'il voulut bien faire.

On voit que les expériences de M. Marsaut et les nôtres ont marché en quelque sorte parallèlement. Nous ne séparerons donc pas l'exposé des observations qui ont été faites à Bessèges et à Paris.

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES.

Lampe Mueseler.

Agencement et propriétés de la lampe Mueseler. — Tous les mineurs savent quelle est la disposition de cette lampe et quel en est le principe. Il ne sera peut-être pas sans utilité de revenir ici sur les causes qui en assurent la sécurité. La mèche y est entourée par un cylindre de verre, fermé en haut par un diaphragme horizontal de toile métallique portant au centre un cône métallique servant de cheminée pour l'évacuation des produits de la combustion. La cheminée est entourée d'un cylindre de toile.

L'air pénètre à la partie inférieure de ce cylindre, traverse le diaphragme et vient alimenter la flamme, tandis que les produits de la combustion montent par la cheminée et s'échappent par la partie supérieure du cylindre.

Lorsque la lampe est plongée dans un mélange gazeux, tenant une certaine quantité de gaz inflammable, mais dans lequel la propagation de l'inflammation est impossible, le gaz vient brûler autour de la flamme et produit les phénomènes que nous avons décrits dans ces *Annales* (*).

Quand la vitesse de propagation du mélange gazeux devient notable, la flamme ne se propage pas dans la cheminée qui est pleine des produits de la combustion, mais elle se propage dans le cylindre de verre, remonte jusqu'au diaphragme, où elle ne tarde pas à s'éteindre parce que les produits de sa propre combustion sont rabattus sur elle. La flamme persiste cependant quelquefois un certain temps en contact avec la toile; éteinte en un point par les gaz de

(*) Sur les procédés propres à déceler la présence du grisou. *Annales des mines*, 7ᵉ s., t. XIX, p. 186.

la combustion, elle se rallume en un autre où la combustion avait cessé et où il se trouve du gaz inflammable, et ainsi de suite; de sorte que la flamme tourne en quelque sorte autour de la saillie que la cheminée fait au-dessous du diaphragme. C'est précisément la raison d'être de cette saillie; au moment où la flamme est ainsi en contact avec le diaphragme, elle pourrait, en effet, si elle n'était arrêtée par cette saillie, se propager à l'intérieur du cône qui ne contient plus alors de produits de la combustion.

Les dimensions des diverses parties de la lampe sont loin d'être indifférentes. Le cylindre de verre ne doit pas avoir une capacité trop considérable pour que l'explosion intérieure qui se produit dans ce cylindre ne soit pas trop forte. La partie inférieure de la cheminée doit s'approcher assez de la mèche pour que la flamme qui monte jusqu'au diaphragme ne puisse accidentellement être projetée dans la cheminée; la cheminée doit être assez haute et assez étroite pour que la flamme, allongée par le gaz, ne sorte jamais par l'orifice supérieur.

Telles sont les principales conditions que doit remplir une bonne lampe Mueseler et qui sont des plus essentielles à la sécurité. Aussi l'arrêté belge qui prescrit l'emploi des lampes Mueseler fixe-t-il avec rigueur les dimensions des différentes parties des appareils telles qu'elles sont inscrites sur la *fig*. 7 de la Pl. I.

Lorsqu'on incline la lampe Mueseler de 40° environ sur la verticale, elle ne tarde pas à s'éteindre. On peut augmenter cet angle maximum d'inclinaison, et rendre moins gênant ce défaut de la lampe, par diverses modifications, mais elles ont toujours pour résultat de diminuer le degré de sécurité. D'ailleurs lorsque la lampe Mueseler est inclinée, l'alimentation de la flamme et l'expulsion de la fumée ne se font plus de la même façon que lorsqu'elle est verticale, et nous avons vu que le mouvement régulier du gaz dans la lampe est un des principaux éléments de la sécu-

rité. Il n'y a donc pas, au point de vue de la sécurité, avantage à ce que la lampe puisse être maintenue inclinée pendant un certain temps.

Lorsque la lampe, restant verticale, est plongée dans un milieu explosif et soumise à un courant d'air violent, elle s'éteint en général sans que la flamme soit projetée au dehors. Cependant la Commission belge de 1868 a pu obtenir quelquefois dans ces conditions la projection de la flamme hors de la lampe en manœuvrant, d'une certaine façon qui n'a point été décrite, la valve au moyen de laquelle on réglait le courant.

Nous avons de notre côté obtenu d'une manière presque constante la projection de la flamme en dehors de la toile sous l'influence d'un courant gazeux, en inclinant fortement la lampe sur la verticale, le réservoir de cette lampe étant tourné vers l'aval du courant horizontal. La lampe reste inclinée, sans s'éteindre, grâce à l'influence du courant lui-même. Dans ces conditions on projette la flamme en dehors de la lampe en opérant avec du gaz d'éclairage et donnant au courant une vitesse de 4 à 5 mètres.

Ces conditions s'éloignent tellement de celles qui ont chance d'être réalisées dans la pratique que la probabilité de voir dans l'intérieur des travaux la flamme sortir de la lampe Mueseler paraissait à peu près nulle lorsque M. Marsaut vint signaler une cause de danger nouvelle et paraissant plus sérieuse.

Premières expériences de M. Marsaut sur la lampe Mueseler. — En opérant avec l'appareil décrit plus haut, la cloche étant remplie de gaz d'éclairage et la mèche de la lampe Mueseler étant fortement baissée, M. Marsaut constata que lorsqu'on élève la lampe lentement et qu'on la laisse séjourner dans le point de la cloche que l'habitude a appris à considérer comme le plus dangereux, il arrive très souvent que l'inflammation pro-

duite dans l'intérieur du cylindre de verre se propage jusque dans l'intérieur du cylindre de toile où elle persiste alors jusqu'à ce que l'atmosphère de la cloche soit impropre à brûler.

C'est là un fait déjà grave, car, s'il se produit dans l'intérieur des travaux, la flamme qui remplit l'intérieur du cylindre de toile est exposée aux courants d'air et peut être projetée par ceux-ci hors du cylindre. La lampe Mueseler perd dans ce cas ce qui fait son principal élément de sécurité et présente tous les dangers qui ont fait abandonner la lampe Davy.

Mais il y a plus, M. Marsaut a constaté que, dans certains cas, assez rares il est vrai, la flamme ne se borne pas à passer du cylindre en verre dans le cylindre de toile, mais qu'elle peut encore être projetée hors de ce cylindre en venant allumer le mélange gazeux extérieur. Si un semblable effet se produisait dans les travaux, une catastrophe en serait la suite inévitable. Cet effet s'est d'ailleurs montré, non seulement rare, mais encore très capricieux.

Sur 3.570 expériences il ne s'est produit que 46 fois, soit 1,3 p. 100, tandis que sur 640 expériences faites les 11, 13, 15, 16 et 17 novembre 1882 le passage de la flamme en dehors de la lampe n'a pas été observé une seule fois.

Peut-être cette variation considérable dans les phénomènes tient-elle à quelque variation, d'un jour à un autre, dans la nature du gaz fabriqué à Bessèges. On n'ignore pas, en effet, que la composition du gaz d'éclairage varie beaucoup et dépend du mode de chauffage employé, de la température à laquelle a lieu la distillation, etc.

Le gaz d'éclairage est formé, pour la majeure partie, d'hydrogène et d'hydrogène protocarboné, et les circonstances de la fabrication peuvent augmenter ou diminuer dans de fortes proportions la teneur en hydrogène. Or, la vitesse spécifique de propagation des mélanges d'hydro-

gène et d'air est de 5 mètres environ, tandis qu'elle est seulement de $0^m,7$ pour les mélanges d'hydrogène protocarboné et d'air. Il n'est donc pas surprenant que la vitesse spécifique de propagation et par suite les propriétés explosives du gaz d'éclairage puissent varier dans d'assez larges limites.

L'incertitude des conditions dans lesquelles se fait chaque expérience et l'impossibilité de les comparer sérieusement entre elles rendent au reste cette hypothèse fort hasardée. Mais il ne ressort pas moins de ces faits que lorsqu'on opère avec des mélanges de gaz d'éclairage et d'air la lampe Mueseler ne laisse passer la flamme au dehors qu'exceptionnellement et lorsque toutes les circonstances favorables à cet effet sont accumulées. Ces mélanges gazeux paraissent donc être en quelque sorte à la limite de ceux qui permettent à ce phénomène de se produire. Les expériences de M. Marsaut ne démontrent donc pas que le passage de la flamme à l'extérieur de la lampe Mueseler peut se produire avec les mélanges grisouteux au repos; elles sembleraient plutôt de nature à appuyer l'opinion contraire.

Une question qui a préoccupé M. Marsaut et qui est, en effet, importante pour servir de guide dans les modifications à apporter à la lampe Mueseler, est la détermination du chemin que suit la flamme pour passer du cylindre de verre dans le cylindre de toile. M. Marsaut pense que, dans la plupart des cas, la flamme passe à travers le diaphragme. Mais cette opinion ne paraît être appuyée que sur l'observation directe et visuelle. Or, en cherchant à faire cette observation nous-mêmes, nous n'avons pu arriver à quelque certitude à cause de la soudaineté du phénomène. Nous étions d'ailleurs peu portés à admettre l'opinion de M. Marsaut, car il nous semblait que la cheminée devait offrir à la flamme un passage bien plus facile que celui qui lui est offert par les mailles du diaphragme. Nous avons pu, en

effet, constater, comme on le verra plus loin, que c'est bien par la cheminée que la flamme sort du cylindre de verre.

Expériences faites par les auteurs, sur la lampe Mueseler, dans des mélanges d'air et de gaz d'éclairage. — Nous avons commencé par répéter les expériences de M. Marsaut dans les conditions mêmes où elles avaient été faites à Bessèges. Sur 50 à 60 expériences environ, nous n'avons pu obtenir une seule fois le passage de la flamme hors de la lampe, tout en obtenant très fréquemment le passage de la flamme dans le cylindre de toile.

Cet insuccès peut s'expliquer par une moindre explosibilité du gaz parisien par rapport à celui de Bessèges, dont les propriétés explosives ne paraissent d'ailleurs pas très constantes comme on l'a vu précédemment.

Nous recourûmes alors au procédé que nous avons décrit plus haut. La lampe dans laquelle la mèche était remplacée par deux fils métalliques était placée dans la caisse vitrée et on chassait l'air de l'appareil par un courant du mélange le plus explosif formé par l'air et le gaz d'éclairage. Lorsqu'on jugeait la caisse purgée d'air, on provoquait l'étincelle électrique.

Dans une première série d'expériences, l'étincelle était à 5 ou 6 millimètres au-dessus de la bague du porte-mèche. A chaque expérience, la flamme était projetée dans le cylindre de toile, mais elle n'a jamais traversé ce cylindre.

Nous abaissâmes alors le point où jaillissait l'étincelle de manière que celle-ci fût à la hauteur même de la bague du porte-mèche.

A la suite de cette modification, en apparence si insignifiante, *nous obtînmes une projection de la flamme hors de la lampe une fois sur trois environ.*

Ces expériences sont donc bien d'accord avec celles de

M. Marsaut. De même que celles-ci, elles montrent que, quant à ce qui regarde la possibilité pour la flamme de traverser la lampe Mueseler, les mélanges d'air et de gaz d'éclairage sont placés à la limite. De très faibles variations dans les conditions de l'expérience suffisent à rendre le phénomène possible ou impossible.

Nous avons cherché à déterminer avec précision le chemin que suivait la flamme pour sortir du cylindre de verre. A cet effet, nous avons bouché la cheminée par un tampon ; si la flamme traversait habituellement le diaphragme l'obstruction de la cheminée devrait rendre ce passage encore plus aisé, et l'on devrait obtenir plus souvent encore que d'ordinaire la projection de la flamme hors de la lampe. Tout au contraire, lorsque la cheminée est obstruée, on n'observe jamais cette projection ; la flamme se borne à traverser le diaphragme pour envahir le cylindre de toile.

Cette expérience est corroborée par la suivante. On recouvre le diaphragme de toile par un anneau plein ; la flamme est alors constamment et à chaque expérience projetée hors de la lampe, et on voit très nettement sur le chapeau de toile du cylindre les traces du passage de la flamme.

Ces faits ne laissent prise à aucun doute, et on peut avec certitude assigner la marche du phénomène. La flamme, provoquée par l'étincelle, se propage à la fois dans le cylindre de verre et dans la cheminée. Elle est en général arrêtée par le diaphragme, mais elle continue à se propager dans la cheminée où elle se comporte comme si le tube était partiellement bouché à la partie inférieure, car le dégagement du gaz qui remplit le cylindre de verre est gêné par le diaphragme. Il sort donc de l'extrémité supérieure de la cheminée un jet de flamme qui vient choquer avec une certaine vitesse la toile horizontale qui ferme le cylindre. Si cette vitesse est suffisante, la toile est traversée.

On s'explique ainsi pourquoi l'obstruction du diaphragme, en ne laissant aux gaz provenant de la combustion que la cheminée pour débouché, augmente la vitesse du jet gazeux et facilite considérablement la projection de la flamme au dehors.

On s'explique encore pourquoi le simple abaissement du point d'inflammation, en augmentant le chemin que doit parcourir la flamme pour arriver à l'extrémité de la cheminée, facilite aussi cette projection de la flamme en augmentant la vitesse du jet.

Puisqu'il en est ainsi, on doit pouvoir s'opposer au passage de la flamme à travers le chapeau, en augmentant la vitesse avec laquelle le jet qui en sort vient rencontrer la toile. Nous avons, en effet, constaté que l'on s'oppose au passage de la flamme, *même après avoir obstrué complètement le diaphragme*, en substituant au cylindre ordinaire dont le chapeau est à 15 millimètres au-dessus de l'orifice de la cheminée, un cylindre plus haut et dont le chapeau est à 55 millimètres au-dessus de cet orifice.

On doit encore pouvoir s'opposer au passage de la flamme en recouvrant la partie supérieure du cylindre de toile d'un chapeau plein. Nous avons, en effet, constaté que, *même après avoir obstrué complètement le diaphragme*, l'explosion ne se propage plus au dehors lorsqu'on a coiffé le cylindre de toile d'un chapeau plein dont la partie cylindrique a une hauteur de 1 centimètre environ.

Expériences faites par les auteurs sur la lampe Mueseler avec des mélanges d'air et d'hydrogène protocarboné. — Après avoir éprouvé la lampe Mueseler dans le mélange le plus explosif d'air et de gaz d'éclairage, nous l'avons soumise aux mêmes épreuves faites avec le mélange le plus détonant d'air et d'hydrogène protocarboné.

La lampe étant dans les conditions ordinaires de son

emploi, à la réserve du remplacement de la mèche par les deux fils métalliques, l'étincelle électrique a déterminé à chaque expérience le passage de la flamme dans le cylindre de toile, mais *nous n'avons jamais obtenu la projection de la flamme en dehors de la lampe.*

La projection de la flamme hors de la lampe n'est pas encore obtenue lorsqu'on obstrue incomplètement le diaphragme par un anneau plein qui ne laisse libre qu'un anneau de toile contigu à la cheminée et de 3 millimètres de largeur.

Lorsqu'on ne réserve plus dans l'anneau plein qui ferme le diaphragme qu'une ouverture carrée de 6 millimètres de côté, on obtient la projection de la flamme une fois sur 4 ou 5 expériences. Avec une aussi faible ouverture la flamme de la mèche s'éteint immédiatement.

C'est seulement lorsqu'on obstrue complètement le diaphragme, qu'on obtient la projection de la flamme presqu'à chaque expérience.

On peut donc dire que, *aussi longtemps que le diaphragme de la lampe Mueseler est assez libre pour permettre l'alimentation de la flamme, une explosion intérieure, provoquée par le mélange le plus explosif d'air et d'hydrogène protocarboné, ne suffit pas à amener le passage de la flamme à l'extérieur de la lampe.*

LAMPE BOTY.

Description et propriétés de la lampe Boty. — Lorsqu'on supprime le cône et le diaphragme de la lampe Mueseler, on obtient ce qu'on appelle la lampe *Boty*. La lampe ainsi disposée a une flamme vacillante, parce que les chemins que doivent suivre le gaz comburant et les gaz brûlés ne sont plus fixés et séparés. Cette lampe a l'avantage de pouvoir être inclinée presque indéfiniment sur la verticale sans s'éteindre. Elle s'éteint habituellement

dans un mélange tenant un gaz inflammable dans une proportion à peu près égale à celle qui commence à déterminer l'inflammabilité.

Cette extinction provient de ce que les produits de la combustion n'ont pas un chemin déterminé d'évacuation. Lorsque le mélange gazeux tient une forte proportion de gaz inflammable, il vient brûler au contact de la flamme, les produits de la combustion augmentent de volume, leur évacuation n'étant pas suffisante, ils restent accumulés autour de la flamme et l'éteignent.

Mais cet effet est mal assuré; si le mélange gazeux est très explosif, si un courant d'air facilite le dégagement des gaz brûlés, l'extinction n'a plus lieu et la flamme envahit le cylindre de toile où elle persiste indéfiniment; dès que ce phénomène s'est produit, la lampe ne présente pas plus de sécurité dans un courant d'air un peu vif que la lampe Davy elle-même. L'emploi de cette lampe dans les travaux de mine nous paraît donc devoir être condamné.

Expériences faites par M. Marsaut sur la lampe Boty. — M. Marsaut a soumis la lampe Boty aux mêmes épreuves que la lampe Mueseler. En opérant sous la cloche, avec du gaz d'éclairage, la mèche de la lampe étant très basse, il n'a pu observer une seule fois le passage de la flamme hors de la lampe sur plus de 2.000 expériences.

En continuant encore à plonger la lampe dans la cloche remplie de gaz d'éclairage, mais en remplaçant la mèche par deux fils métalliques entre lesquels on provoque au moment opportun une étincelle électrique, M. Marsaut est arrivé à des résultats bien opposés et très intéressants.

Lorsque l'étincelle est provoquée à une distance du fond de la lampe *plus grande* que le quart de la hauteur du cylindre de verre, la flamme passe quelquefois en dehors de la toile, mais rarement. Lorsqu'au contraire l'étincelle est provoquée à une distance du fond *plus petite*

que le quart de la hauteur du verre, la flamme passe neuf fois sur dix. C'est un effet analogue à celui que nous avons observé avec la lampe Mueseler elle-même.

La différence frappante qui existe entre le cas où l'inflammation est provoquée par la flamme de la mèche et celui où elle est provoquée par l'étincelle électrique tient sans doute à deux causes :

1° A l'influence, favorable au point de vue de la sécurité, des produits de la combustion ;

2° A ce fait qu'avec l'étincelle électrique toute la lampe se remplit du mélange détonant, tandis que, lorsque la mèche brûle, le mélange détonant ne peut s'accumuler qu'au-dessus de la flamme, la zone située au-dessous restant inexplosible.

Conséquences de l'adjonction d'une cheminée à la lampe Boty. — On peut régulariser l'arrivée d'air et l'évacuation des gaz brûlés en ajoutant à la lampe Boty une cheminée centrale. On a alors une lampe Mueseler à laquelle le diaphragme de toile métallique a seul été supprimé. Cette lampe brûle plus régulièrement et éclaire mieux que la lampe Boty ; elle peut sans s'éteindre s'incliner sur la verticale presque autant que la lampe Boty, mais elle ne s'éteint pas dans les mélanges de gaz inflammable. Dans un semblable mélange, lorsqu'il est explosif, la flamme monte et se maintient dans le cylindre de toile d'où un courant d'air peut la projeter au dehors.

Portée lentement sous la cloche de M. Marsaut, la mèche étant très basse, la lampe ainsi disposée laisse assez facilement passer la flamme au dehors. On conçoit, en effet, que l'addition d'une cheminée à la lampe Boty crée une cause de danger, puisque l'augmentation de la vitesse de propagation et, par conséquent, celle de la vitesse de la flamme est plus grande dans un tube que dans un espace

libre. A ce point de vue on peut donc dire que la cheminée est un organe dangereux.

LAMPES DAVY.

Description et propriétés de la lampe Davy. — On désigne sous le nom de lampes Davy les lampes dans lesquelles la flamme est simplement protégée par un cylindre de toile métallique.

Ces lampes ont le grand avantage de la simplicité et de la commodité. Elles ont le très grave inconvénient de se laisser très aisément traverser par la flamme lorsqu'elle est chassée par un courant d'air. Ce courant n'a pas besoin d'être violent; lorsque la toile a 144 mailles au centimètre carré, le diamètre du fil étant de $0^{mm},364$, il suffit avec les mélanges d'air et de gaz d'éclairage d'une vitesse de $1^{m},70$ à 2 mètres; avec les mélanges d'air et de grisou il suffirait donc d'une vitesse de $2^{m},50$ environ. Cette vitesse, qui équivaut à celle de 9 kilomètres à l'heure, peut aisément être dépassée par un homme marchant au pas de course; elle peut être dépassée encore bien plus facilement dans les mouvements brusques imprimés à la lampe.

On peut dire d'ailleurs, d'une manière générale, que les toiles métalliques, *à elles seules*, sont un préservatif très précaire contre les dangers d'explosion. Dans les nombreuses expériences que nous avons faites sur les mélanges explosifs, nous avons toujours eu lieu de nous repentir de la confiance, très modérée cependant, que nous avions quelquefois accordée aux toiles métalliques. Nous avons ainsi plus d'une fois subi des accidents qui ont toujours été inoffensifs, mais qui auraient très bien pu être graves, soit pour nous, soit pour nos aides. C'est donc avec la conviction qui résulte de l'expérience acquise que nous n'hésitons pas à dire que les lampes Davy n'ont qu'une efficacité très incertaine dans un milieu sérieusement

détonant. La seule circonstance qui explique que ces appareils ne donnent pas plus souvent lieu à des catastrophes, c'est qu'en définitive dans les mines il est assez rare qu'on se trouve en présence d'une atmosphère à laquelle les proportions relatives d'air et de grisou donnent des propriétés détonantes très énergiques.

Les lampes Davy doivent donc, à notre avis, être absolument proscrites dans les houillères, ou tout au moins ne doivent être confiées qu'exceptionnellement aux mains des chefs mineurs et avec la recommandation expresse de les manier avec une extrême prudence.

Expériences faites par M. Marsaut sur les lampes Davy. — Influence des dimensions du cylindre de toile. — Par contre, au point de vue particulier qui a surtout préoccupé M. Marsaut, les lampes Davy doivent présenter le minimum de danger. Il est clair, en effet, que les gaz produits par une explosion provoquée dans l'intérieur de la lampe, trouvant de larges débouchés, s'échapperont avec une faible vitesse et que par conséquent la flamme n'aura qu'une faible tendance à traverser la toile. Il est encore évident, si l'on se reporte aux principes que nous avons établis au début de ce travail, que cette tendance sera d'autant plus faible que les dimensions de la lampe seront plus restreintes.

M. Marsaut a, en effet, constaté dans des expériences faites sous la cloche avec du gaz d'éclairage et la mèche allumée, mais très basse, que la lampe Davy (modèle du Gard), dont le cylindre a une hauteur de 195 millimètres, un diamètre de 66 millimètres, avec 132 mailles au centimètre carré, peut laisser quelquefois passer la flamme au dehors.

La lampe Davy (modèle Dubrulle), ayant 132 millimètres de hauteur, 42 millimètres de diamètre au chapeau et 50 millimètres de diamètre en bas, se laisse encore traverser, quoique plus rarement.

La lampe Davy, du type de Newcastle, ayant une hauteur de 140 millimètres au-dessus du porte-mèche, un diamètre uniforme de 40 millimètres et 121 mailles au centimètre carré, ne s'est laissée traverser qu'une seule fois sur 264 expériences.

La lampe Davy, dite de *fireman*, dont le cylindre a 120 millimètres de hauteur, 38 millimètres de diamètre uniforme et un double chapeau de toile à la partie supérieure, ne s'est pas laissé traverser une seule fois sur 146 expériences.

En continuant à opérer sous la cloche avec du gaz d'éclairage, mais en employant l'étincelle électrique, M. Marsaut a observé que la lampe Davy du Gard se laisse traverser par la flamme presqu'à chaque épreuve, tandis que la lampe de *fireman* n'a donné aucune explosion extérieure sur 10 épreuves.

Nous avions fait, il y a plusieurs années, des expériences analogues sur la lampe Davy, modèle du Nord, en employant l'étincelle électrique dans un milieu très explosif d'air et de gaz d'éclairage, et nous avions constaté, comme l'a fait plus tard M. Marsaut, que dans ces conditions la flamme n'est jamais projetée au dehors.

Il résulte de ces expériences que lorsqu'on croit nécessaire, dans des circonstances exceptionnelles, de mettre entre les mains des maîtres-mineurs ou d'ouvriers expérimentés, des lampes Davy, malgré le peu de sécurité qu'elles présentent, il faut diminuer autant que possible les dimensions du cylindre de toile.

LAMPE MARSAUT.

Description des lampes Marsaut du premier et du dernier type. — C'est en cherchant à construire une nouvelle lampe de sûreté que M. Marsaut a été conduit aux expériences que nous avons fait connaître en

partie. Il se proposait d'abord simplement de remédier à l'inconvénient si souvent signalé de la lampe Mueseler qui s'éteint lorsqu'on l'incline de 40° sur la verticale.

La lampe Marsaut était primitivement (*fig.* 3, 4 et 8) une lampe Mueseler ordinaire dans laquelle la cheminée était conservée, mais le diaphragme supprimé. Pour s'opposer à l'action des courants d'air sur la flamme qui, dans ces conditions, peut remplir le cylindre de toile, ce cylindre était enveloppé d'un écran plein, percé d'orifices carrés, en bas pour l'arrivée de l'air, en haut pour l'évacuation des gaz brûlés.

Nous avions constaté que cette lampe résiste aux courants les plus violents, et la Commission du grisou, encore réunie à cette époque, avait, sur notre rapport, félicité l'inventeur en signalant l'inconvénient qu'il y avait à ce que le cylindre de toile fût caché par l'écran et qu'il ne fût ainsi pas possible, par un simple coup d'œil, d'en constater l'absence, le cas échéant.

M. Marsaut a remédié, au moins en partie, à l'inconvénient que nous avions signalé, en terminant la toile par un cylindre de clinquant qui s'adapte sur le cylindre de verre et dont le bord, percé de trous qui le signalent à l'attention, est visible à l'extérieur.

A la suite des expériences qui l'avaient amené à considérer la cheminée comme un organe dangereux, M. Marsaut l'a supprimée dans sa lampe et a placé simplement au-dessus du cylindre de verre deux (*fig.* 5 et 6) ou même trois cylindres de toile métallique entrant l'un dans l'autre.

Expériences de M. Marsaut sur la lampe construite par lui. — M. Marsaut avait constaté que sous la cloche et avec la flamme de la mèche baissée la lampe ainsi modifiée n'avait pas laissé passer une seule fois la flamme au dehors sur 2.686 épreuves.

Nous avons constaté de notre côté que, même avec cette nouvelle disposition, la lampe résistait aux courants d'air

les plus énergiques, quelle que soit la position donnée à la lampe par rapport au courant.

Avec l'étincelle électrique les résultats n'ont pas été à beaucoup près aussi satisfaisants, car sur 4 épreuves faites par M. Marsaut la flamme s'est propagée trois fois au dehors.

Pour que la lampe puisse résister aux épreuves avec l'inflammation électrique, il a fallu superposer trois cylindres de toile. Au prix de cette nouvelle complication la lampe a été soumise à 12 épreuves sans propager l'inflammation au dehors.

M. Marsaut a bien voulu nous envoyer un exemplaire de sa lampe à deux cylindres de toile sans cheminée. Nous avons constaté que, pour déterminer l'extinction, l'inclinaison de la lampe devait être poussée notablement plus loin qu'avec la lampe Mueseler. En revanche, elle nous a paru très notablement plus susceptible que celle-ci à l'influence d'un mouvement brusque de haut en bas. En la laissant tomber de la hauteur de la main, nous en avons déterminé l'extinction, et cet effet nous a paru se produire plus facilement lorsque la lampe est allumée depuis quelque temps. C'est là un inconvénient dont la pratique seule peut faire connaître le plus ou moins de gravité.

CONCLUSIONS

Degré de sécurité de la lampe Mueseler dans le grisou. — Tels sont les principaux résultats des nouvelles expériences de M. Marsaut et des nôtres qui en ont été la conséquence. Il nous reste à apprécier quelle doit en être, au moins d'après notre appréciation personnelle, l'influence sur le mode d'éclairage des mines à grisou.

La première question à discuter, celle qui a le plus ému les mineurs, celle sur laquelle M. Marsaut a le plus insisté,

est celle de savoir si la lampe Mueseler peut, au repos et dans une atmosphère tranquille formée par un mélange détonant d'air et de grisou, laisser passer la flamme au dehors.

On peut considérer la question comme résolue affirmativement lorsque l'atmosphère est formée par un mélange composé d'air et d'un certain gaz d'éclairage plus explosif que le gaz ordinaire de Paris. Il faut alors, pour que cet effet se produise, que la flamme de la mèche soit tenue aussi basse que possible, et que la lampe soit élevée lentement de bas en haut, de manière à s'enfoncer graduellement dans le mélange détonant.

Mais le même effet peut-il se produire dans les mélanges de grisou et d'air? Si l'on posait la question pour les mélanges d'hydrogène protocarboné et d'air, il ne semble pas douteux que la question dût être résolue par la négative. Il paraît, en effet, évident qu'un effet qui ne peut être obtenu qu'exceptionnellement dans un gaz d'éclairage plus détonant que le gaz des usines parisiennes, doit être absolument irréalisable avec un gaz tel que l'hydrogène protocarboné dans lequel la vitesse de propagation est au plus égale à $0^m,70$, quand elle atteint $1^m,10$ pour les mélanges les plus explosifs formés par l'air et le gaz de Paris.

En fait, pour provoquer le passage de la flamme en dehors de la lampe Mueseler avec des mélanges d'air et d'hydrogène protocarboné il a fallu se placer dans des conditions très éloignées de celles qu'il est possible de supposer réunies, même pendant un temps très court, dans la pratique. Il a fallu, en effet, remplir la lampe tout entière de mélange détonant avant d'y mettre le feu par une étincelle électrique et enfin obstruer complètement le diaphragme horizontal, obstruction qui ne pourrait être réalisée dans la pratique sans que la lampe s'éteignît rapidement.

Nous n'ignorons point combien il est difficile d'affirmer que telle circonstance, qui paraît impossible, ne se rencon-

trera pas dans la série indéfinie des combinaisons qu'amène la continuité du temps, mais le passage de la flamme en dehors de la lampe Mueseler lorsque cette lampe est plongée dans un mélange d'air et d'hydrogène protocarboné, nous paraît un évènement en dehors de toute vraisemblance, au moins tant que la lampe Mueseler est dans des conditions à peu près normales et que le diaphragme horizontal n'est pas à peu près complètement obstrué.

Reste la possibilité que les mélanges d'air et de grisou soient, au moins dans certains cas, beaucoup plus détonants que les mélanges d'air et d'hydrogène protocarboné.

Dans le Rapport que nous avons présenté, lors de la clôture de ses travaux, à la Commission du grisou et qui a été insérée dans ces *Annales*, nous avons déjà dit quelle était notre opinion sur ce sujet. Même là où le grisou a pu être recueilli avec des garanties sérieuses de pureté, on n'y a jamais constaté, en proportion sérieusement nuisible, des gaz plus détonants que ne l'est l'hydrogène protocarboné. En Angleterre, en France, les résultats ont partout été les mêmes. Les mélanges d'air et de grisou sont, d'après toutes les analyses, le plus souvent moins, et jamais notablement plus explosifs que les mélanges d'air et d'hydrogène protocarboné.

On a cependant signalé des grisous particulièrement dangereux, mais cette appréciation vague n'a jamais jusqu'ici été appuyée sur aucun fait précis.

Le danger particulier signalé par M. Marsaut, en ce qui regarde la lampe Mueseler, ne nous paraît donc pas de nature à préoccuper sérieusement les mineurs. Mais les expériences de cet ingénieur n'auront pas été inutiles à l'art des mines. En premier lieu, elles auront appelé l'attention sur la complication et le peu de régularité des phénomènes qui se passent dans une simple lampe de sûreté. Elles auront surtout montré quel est le danger de modifier arbitrairement, comme le font à tort certains

constructeurs, les dimensions des divers types de lampes.

Changer dans la lampe Mueseler, par exemple, la hauteur du cylindre de verre, la hauteur et la position de la cheminée, le diamètre du diaphragme, la hauteur du cylindre de toile, etc., c'est altérer et quelquefois très gravement le degré de sécurité de l'appareil.

Nous pensons d'ailleurs que, bien que le danger signalé par M. Marsaut ne paraisse pas sérieusement à redouter, il suffit qu'il puisse être considéré comme seulement possible dans certains cas même tout à fait invraisemblables pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte. Peut-être, si l'on persistait dans l'emploi de la lampe Mueseler, pourrait-on songer à surélever le cylindre de toile ou à le coiffer d'un chapeau plein ou encore à superposer deux cylindres de toile.

Cause de danger résultant du passage de la flamme dans le cylindre de toile de la lampe Mueseler. — Il y a d'ailleurs un résultat des expériences de M. Marsaut dont, à notre avis, il importe au plus haut point de tenir compte désormais. On pensait jusqu'ici que, dans la lampe Mueseler, l'inflammation ne pouvait que par un concours de circonstances tout à fait invraisemblables pénétrer jusque dans l'intérieur du cylindre de toile. On pouvait alors se croire garanti contre l'influence des courants d'air puisque la flamme ne pouvait jamais se trouver soumise à leur influence.

Mais M. Marsaut a montré qu'avec des mélanges d'air et de gaz d'éclairage, et en employant une manœuvre qu'on réalise dans les houillères lorsqu'on se livre à l'exploration d'une cloche, la flamme peut très aisément passer dans l'intérieur du cylindre. Nous avons montré que cet effet peut se produire même avec des mélanges d'air et d'hydrogène protocarboné. Il peut donc sans aucun doute se produire dans la pratique. Or, lorsqu'il est réalisé, lorsque la flamme envahit le cylindre de toile, elle y persiste et se

trouve soumise, dans des conditions précisément très périlleuses, à l'influence de l'agitation de l'air qui peut être produite par une cause quelconque, et tout simplement par la précipitation de l'ouvrier à retirer sa lampe.

L'élément principal de la sécurité de la lampe Mueseler se trouve donc alors supprimé.

Pour conjurer cette cause de danger, il faut éviter de se placer dans les conditions où elle peut se produire. Il faut ou renoncer à explorer une cloche avec cette lampe ou tout au moins recommander à l'ouvrier, lorsqu'il se livre à cette exploration dangereuse de tenir sa flamme à la hauteur normale au lieu de la baisser comme on le recommande ordinairement. On ne peut plus alors, il est vrai, juger de la présence du gaz par l'auréole bleue; mais on peut encore se servir des indications données par l'allongement de la flamme. Ce procédé, d'ailleurs assez précis, est depuis longtemps employé à Bessèges, et nous l'avons étudié dans notre mémoire « Sur les procédés propres à déceler la présence du grisou (*) ».

Pour éviter le danger d'une manière plus sûre, on devra modifier la construction de la lampe Mueseler.

On pourra recourir à l'emploi d'un écran préservateur. C'est ce qu'a fait M. Marsaut; c'est ce que vient de proposer aussi M. Barretta, qui enveloppe la lampe Mueseler ordinaire, pourvue de deux cylindres de toile, d'un écran cylindrique percé d'orifices à la partie inférieure.

L'addition d'un écran n'est pas sans entraîner quelques inconvénients. La toile métallique, garantie contre le rayonnement, s'échauffe davantage, et, surtout au bout d'un certain temps, l'alimentation est plus difficile. Il pourrait même arriver que, si la lampe est maintenue longtemps dans un milieu non explosif, mais voisin de l'inflammabilité, la température s'élevât assez pour que la toile devînt rouge,

(*) *Annales des mines*, 7e s., t. XIX, p. 186, 1881.

circonstance qui serait d'autant plus fâcheuse dans l'espèce que l'ouvrier n'en serait point averti.

Nous avons d'ailleurs constaté que la lampe Marsaut à deux cylindres sans cheminée présente toutes les garanties de sécurité désirables dans les courants d'air. Elle pourra donc être employée avantageusement dans l'exploration des cloches, puisqu'à nos yeux le principal danger résulte alors de l'influence des courants d'air.

Dimensions à donner aux lampes Davy. — Les lampes qui s'éteignent dans le grisou sont, au reste, peu propres à explorer les parties dangereuses des travaux, parce qu'elles exposent l'ouvrier chargé de cette exploration et souvent isolé, à rester dans l'obscurité. C'est pour cela que les lampes Davy, malgré les graves dangers auxquels elles exposent le mineur, sont encore mises, même en Belgique, entre les mains des maîtres-mineurs. Les expériences de M. Marsaut ont montré qu'il faut alors donner au cylindre de toile, suivant les indications de Davy lui-même, les dimensions les plus petites possibles. Il serait sans doute très convenable de superposer deux cylindres de toile.

Il y aurait surtout lieu de chercher une combinaison qui, tout en laissant à la lampe la faculté de ne pas s'éteindre dans le gaz, la soustrairait plus complètement à l'influence du courant d'air. On n'aurait pas d'ailleurs à se préoccuper des nécessités de l'emploi courant, puisque la lampe ne devait être mise qu'entre les mains des maîtres-mineurs.

STATISTIQUE
de l'Industrie minérale de la France.

TABLEAUX COMPARATIFS DE LA PRODUCTION DES COMBUSTIBLES MINÉRAUX, DES FONTES, FERS ET ACIERS, EN 1881 ET EN 1882 (*).

I. — Combustibles minéraux.

PRODUCTION PAR DÉPARTEMENT.

DÉPARTEMENTS.	NATURE DU COMBUSTIBLE.	PRODUITS. 1881.	PRODUITS. 1882.
		tonnes.	tonnes.
Ain	Lignite	69	40
Allier	Houille	886 939	940 725
Alpes (Basses-)	Lignite	87 931	42 817
Alpes (Hautes-)	Anthracite	4 783	5.200
Alpes-Maritimes	Houille	10	»
Ardèche	Houille et anthracite	26 050	26 203
	Lignite	1 825	1.549
Aude	Idem	196	306
Aveyron	Houille	737 382	794 847
	Lignite	6 691	8.359
Bouches-du-Rhône	Idem	458 790	456 516
Cantal	Houille	8 870	9 274
Corrèze	Idem	3 719	4 523
Côte-d'Or	Houille et anthracite	9.819	9.563
Creuse	Idem	140 774	171.262
Dordogne	Lignite	1.650	1 795
Drôme	Idem	137	140
Gard	Houille	1.907 454	1 925 654
	Lignite	16 902	12 242
Hérault	Houille et anthracite	272.796	357.885
	Lignite	689	525
Isère	Anthracite	114 012	124 775
	Lignite	1 703	1 835
Loire	Houille et anthracite	3.478 672	3 570 287
Loire (Haute-)	Houille	226 328	240.103
Loire-Inférieure	Anthracite	16 295	18.437
Lot	Houille	1 936	1 768
Maine-et-Loire	Anthracite	30 072	30.768
Mayenne	Idem	79 135	76 064
Nièvre	Houille	201 563	201 160
Nord	Houille et anthracite	3 671 702	3 870 818
Pas-de-Calais	Houille	5.820 383	5.724 624
Puy-de-Dôme	Houille et anthracite	174 093	190.135
Pyrénées-Orientales	Lignite	1 664	1.398
Rhône	Houille	26 209	36 300
Saône (Haute-)	Idem	176 810	189 302
	Lignite	9 731	9 508
Saône-et-Loire	Houille et anthracite	1.300 860	1.292 294
Sarthe	Anthracite	16. 854	20 213
Savoie	Idem	15.928	14.016
Savoie (Haute-)	Idem	150	»
	Lignite	2.078	1 003
Sèvres (Deux-)	Houille	19. 025	21 809
Tarn	Idem	340.400	365.060
Var	Houille et anthracite	905	600
	Lignite	787	1 521
Vaucluse	Idem	12.673	11 553
Vendée	Houille	17.667	18.188
Vosges	Lignite	507	666
Récapitulation	Houille et anthracite	19 211.063	20.251.531
	Lignite	554.020	551.801
	Totaux	19.765.083	20 803.332
Augmentation			1 037 349

(*) Ces tableaux ont été publiés, par ordre de M. le Ministre des Travaux publics, au *Journal Officiel* du 20 février 1883. Les chiffres concernant l'année 1882 sont extraits des états *semestriels* fournis par les Ingénieurs des mines et, par suite, *provisoires*; tandis que la statistique de 1881, résultant du dépouillement des états *annuels*, contient des chiffres *définitifs*.

GROUPES GÉOGRAPHIQUES DE BASSINS	PRODUITS. 1881	PRODUITS. 1882	BASSINS ÉLÉMENTAIRES (1)	DÉPARTEMENTS OU LES BASSINS SONT SITUÉS.	PRODUITS. 1881	PRODUITS. 1882
	tonnes.	tonnes			tonnes.	tonnes.
			I. — Houille et Anthracite			
Nord et Pas-de-Calais.	8.992.085	9.594 942	Valenciennes	Nord, Pas-de-Calais	8 934 756	9.540 224
			Le Boulonnais (Hardinghen)	Pas-de-Calais	57 329	54 718
Loire	3.516.504	3.619.012	St-Étienne (et Rive-de-Gier)	Loire	3.470 356	3.566.815
			Sainte-Foy l'Argentière	Rhône	28 209	36 300
			Communay	Isère	14 623	12 475
			Le Roannais (Roanne)	Loire	3 316	3 422
Gard	1.933.504	1.951.857	Alais	Gard, Ardèche	1.918 227	1.935 673
			Le Vigan	Gard	9 491	8.854
			Aubenas	Ardèche	5 786	7.330
Bourgogne et Nivernais	1.552.279	1.546.461	Creusot et Blanzy	Saône-et-Loire	1.137 096	1.137 175
			Decize	Nièvre	201 563	201 160
			Epinac et Aubigny-la Ronce	Saône-et-Loire, Côte-d'Or	138 200	132.492
			Bert	Allier	40 037	43 439
			La Chapelle-sous-Dun	Saône-et-Loire	26 123	22 627
			Sincey, *Forges*	Côte-d'Or, *Saône-et-Loire*	9.260	9 568
Tarn et Aveyron	1.079.778	1 161 175	Aubin	Aveyron	721.903	778.638
			Carmaux	Tarn	340 460	365 060
			Rodez	Aveyron	15.479	15 709
			Saint Perdoux	Lot	1 936	1 768
Bourbonnais	959.509	1.020 261	Commentry (et Doyet)	Allier	813 701	866 102
			Saint Eloy	Puy-de-Dôme	112 608	122,978
			L'Aumance (Buxière-la-Grue)	Allier	33 143	31.184
			La Queune (Fins et Noyant)	Allier	57	»
Auvergne	291.690	316 533	Brassac	Haute-Loire, Puy-de-Dôme	263.164	267.415
			Langeac	**Haute-Loire**	16 786	24 275
			Champagnac et Bourg-Lastic.	**Cantal, Puy-de-Dôme**	11 740	24.843
Hérault	272.798	357.885	**Graissessac, *Roujan***	**Hérault**	272 798	357 885
Vosges méridionales	178.610	189.302	**Ronchamp**	**Haute-Saône**	178.610	189.302
Ouest	169.548	185.409	**Le Maine**	**Mayenne, Sarthe**	86 489	96 277
			Basse-Loire	Loire-Infre, Maine-et-Loire	46 367	49 225
			Vouvant et Chantonnay	Deux-Sèvres, Vendée	38 692	39 907

			Saint-Pierre-La-Cour	*Mayenne*	»	»
			Le [illegible], Littré, le Plessis	*Calvados, Manche.*	»	»
Creuse et Corrèze	144 493	175 885	Ahun	Creuse	1[illegible] 371	169 872
			Cublac, Terrasson, Meymac et Argentat	Corrèze, *Dordogne*	3 719	4 523
			Bourganeuf	Creuse	2 403	1 490
Alpes occidentales	120 [illegible]	132 110	La Mure, La Motte	Isère	98 746	111 600
			[illegible] et Briançon	Hautes-Alpes, Savoie	20 711	19 816
			[illegible]	[illegible]	643	700
			[illegible]	Haute-Savoie	1 [illegible]	»
Maures	915	600	Les Maures, Fréjus	Var, *Alpes-Maritimes*	915	600
Pyrénées	»	»	*[illegible], D[illegible]*	*Basses-Pyrénées, Aude*		»
Totaux pour les houilles	19 211 963	20 251 531	.....	.....	19 211 963	20 251 531

II. — Lignite

Provence	[illegible]	500 884	Le Fuveau, Aix	Bouches-du-Rhône, Var	458 [illegible]	456 516
			Manosque	Basses-Alpes, *Vaucluse*	37 [illegible]	42 847
			La C[illegible]	Var	787	1 521
Comtat	30 [illegible]	24 460	Bagnols, Orange, B[illegible]	Ardèche, Gard, Vaucluse	24 160	19 586
			M[illegible]	Vaucluse	3 789	3 239
			B[illegible] et Célas	[illegible]	2 787	1 635
			M[illegible]	*[illegible]*		»
Sud Ouest	11 [illegible]	13 265	M[illegible]	Aveyron, Gard	7 295	9 243
			[illegible], *[illegible]*	Pyrénées-Orientales, *[illegible]*	1 [illegible]	1 396
			[illegible]	D[illegible]	1 [illegible]	1 [illegible]
			[illegible]	A[illegible], Hérault	885	831
Vosges méridionales	10 [illegible]	10 174	[illegible], *[illegible]*	Haute-Saône	9 [illegible]	9 508
			N[illegible]	Vosges	5[illegible]	666
Haut-Rhône	4 [illegible]	3 018	[illegible] *[illegible]*	Haute-Savoie, *Savoie*	2 [illegible]	1 903
			La Tour-du-Pin	Isère	1 7[illegible]	1 835
			Hauterives, Montchanar[illegible]	Drôme	137	140
			Douvres	Ain	63	40
Totaux pour les lignites	554 020	531 801	.....	.....	554 020	531 801
Totaux généraux	19 765 983	20 803 332	.....	.....	19 765 983	20 803 332

Les bassins dont les mines n'ont pas été exploitées [illegible] année et les départements correspondants ont leurs noms en *italiques*.

II. — Industrie sidérurgique.

PRODUCTION DES FONTES.

DÉPARTEMENTS	DÉSIGNATION de la FONTE	1881 FONTES [illegible]	1881 FONTES [illegible]	1881 PRODUCTION totale	1882 FONTE [illegible]	1882 FONTE [illegible]	1882 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Au coke	[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	11 231	[illegible] 707
Ardèche	Au coke	81 [illegible]	17 [illegible]	[illegible]	78 [illegible]	[illegible]	1[illegible]3 315
Ardennes	Au coke	18 2[illegible]	1 [illegible]	[illegible]	21 [illegible]	»	22 258
	Au bois	172	[illegible]		[illegible]	41[illegible]	
Ariège	Au coke	[illegible]	1[illegible]	[illegible]	[illegible]	»	2[illegible] 1[illegible]0
Aveyron	Au coke	2[illegible]	3 1[illegible]	[illegible]	3[illegible]	1 [illegible]	3[illegible]
Bouches-du-Rhône	Au coke	25 [illegible]	[illegible]70	[illegible]	[illegible] 470	1 [illegible]	25 704
Cher	Au coke	»	1[illegible]	21 7[illegible]	»	3 [illegible]	17 959
	Au bois	3 8[illegible]	»		4 [illegible]	»	
	Mixte	»	[illegible] 11[illegible]		»	[illegible] 557	
Corrèze	Au bois	5 [illegible]	»	5 [illegible]	5 185	»	5 185
Dordogne	Au bois	[illegible]		[illegible]	600	»	600
D[illegible]	Au [illegible]	1 19[illegible]	8[illegible]	1 [illegible]	1 [illegible]	100	2 000
[illegible]	Au coke	2 7[illegible]	»	2 [illegible]	[illegible]	197	[illegible]
Gard	Au coke	11[illegible]	1[illegible]	1[illegible] 937	13[illegible]	6 [illegible]	143 542
[illegible]	Au bois	1 30[illegible]	500	1 800	1 [illegible]	300	1 800
[illegible]	Au [illegible]	[illegible] 547	8 [illegible]1	11 [illegible]	8 [illegible]	5 54[illegible]	14 251
Ille-et-Vilaine	Au bois	»	1 218	1 218	»	1 750	1 750
Indre	Au bois	728	»	728	513	»	513
Isère	Au coke	32 [illegible]5	1 367	36 492	36 3[illegible]	808	38 763
	Au bois	780	88		780	71	
	Mixte	2 162	24		750	5	
Landes	Au bois	10 496	5 716	16 212	10 504	5 493	15 997

Loire	Au coke	59.942	423	60.385	58.543	4	58.547
Loire-Inférieure	Au coke	2.052	8.915	11.297	14.128	3.093	17.727
	Au bois	330	»		506	»	
Lot-et-Garonne	Au coke	240	14.715	15.555	290	17.030	18.820
	Au bois	600	»		1.500	»	
Marne	Au coke	»	2.689	2.689	»	2.669	2.669
Marne (Haute-)	Au coke	18.564	27.202	76 827	14.062	31.206	79.526
	Au bois	8.168	»		5 853	»	
	Mixte	11.659	13.234		11.525	16.860	
Mayenne	Au coke	»	2.295	2.295	»	»	»
Meurthe-et-Moselle	Au coke	410.061	194.670	606.550	492 506	221.958	716.042
	Au bois	1.623	196		1.578	»	
Meuse	Au coke	3.246	7.128	11.236	2.442	5.867	9.197
	Mixte	»	862		»	888	
Nord	Au coke	193.400	46 019	239.419	206.322	49.000	255.322
Pas-de-Calais	Au coke	38 500	18.000	56.500	35.182	17.944	53.126
Pyrénées-Orientales	Au coke	2 316	»	12.283	993	»	7.576
	Au bois	9.451	»		6.583	»	
	Mixte	516	»		»	»	
Rhône	Au coke	83.974	3 544	87.518	89.437	»	89 437
Saône (Haute-)	Au bois	2.688	1.202	3.890	3.610	999	4 609
Saône-et-Loire	Au coke	172.604	1.043	173.647	177.469	271	177.740
Sarthe	Mixte	»	216	216	»	»	»
Savoie	Au bois	»	538	538	443	»	443
Savoie (Haute-)	Au coke	»	»	»	1.950	»	1.950
Récapitulation	Au coke	1.402.897	393.574	1.796.471	1.530.416	407.755	1.938.171
	Au bois	45.391	9.705	55.096	46.219	9.129	55.348
	Mixte	14 337	20.446	34.783	12 275	27.310	39.585
Totaux		1 462.625	423.725	1.886.330	1 588 910	444.194	2.033.104
Augmentation					126 285	20.469	146 754

PRODUCTION DES ACIERS.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DE L'ACIER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1881 RAILS	1881 ACIERS marchands	1881 TÔLES	1881 PRODUCTION totale	1882 RAILS	1882 ACIERS marchands	1882 TÔLES	1882 PRODUCTION totale
		tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
Allier	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin	18 700	5 158	76	24.221	18 600	4 851	120	23 571
	Puddlé	»	222	65		»	»	»	
Ardennes	Cémenté	»	3	»	80	»	3	»	191
	Fondu au creuset	»	32	»		»	49	»	
	Obtenu par réchauffage de viel acier	»	45	»		»	139	»	
Ariège	Fondu au foyer Siemens-Martin	»	223	»	4 165	»	3 475	»	6.163
	Puddlé	»	3.380	»		»	2 500	»	
	Cementé	»	180	»		»	155	»	
	Fondu au creuset	»	382	»		»	33	»	
Aube	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	»	»	»	»	1.100	»	1 100
Aveyron	Fondu au foyer Siemens-Martin	24.033	»	»	24 033	25.802	»	»	25 802
Charente	Idem	»	780	»	800	»	585	»	585
	Fondu au creuset	»	20	»		»	»	»	
Côte-d'Or	Fondu au foyer Bessemer	»	145	»	770	»	»	»	520
	De forge	»	375	»		»	270	»	
	Cémenté	»	150	»		»	150	»	
	Fondu au creuset	»	100	»		»	100	»	
Côtes-du-Nord	Fondu au foyer Siemens-Martin	»	»	»	54	»	25	»	40
	Cémenté	»	2	»		»	5	»	
	Fondu au creuset	»	52	»		»	10	»	
Finistère	Idem	»	1	»	1	»	»	»	»
Gard	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	71 949	1 521	»	73 470	78.458	2.921	»	81 379
Garonne (Haute-).	Cémenté	»	112	»	112	»	109	»	109

Isère	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	»	5 848	»		»	5.801	»	
	Puddlé	»	2.073	»	9.021	»	1.801	»	8.739
	Cémenté	»	498	»		»	305	»	
	Fondu au creuset	»	602	»		»	652	»	
Loire	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	72.602	29.989	7.141		77.034	28 808	10.022	
	Puddlé et de forge	»	8.082	»	125.772	»	6 801	»	131 056
	Cémenté	»	1.610	»		»	1.591	»	
	Fondu au creuset	»	6.049	290		»	6.551	249	
Loire-Inférieure	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	»	»	»	»	61	112	214	387
Meurthe-et-Moselle	Fondu au foyer Siemens-Martin	»	»	»	1.603	416	»	»	2.032
	Puddlé	»	999	604		»	1.031	585	
Meuse	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	113	84	197	»	191	»	191
Morbihan	Fondu au foyer Siemens-Martin	»	»	61	61	»	»	»	290
	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	»	»		»	»	290	
Nièvre	Fondu au foyer Siemens-Martin	234	3.786	853		135	4.377	649	
	Puddlé	»	256	»	5.209	»	479	»	5.731
	Fondu au creuset	»	77	3		»	87	4	
Nord	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	46.136	1.086	559		58.449	2.495	549	
	Cémenté	»	55	»	48.156	»	»	»	61.493
	Fondu au creuset	»	320	»		»	»	»	
Oise	Fondu au foyer Siemens-Martin	»	2.064	751	2.815	»	607	1.630	2.237
Rhône	Fondu au foyer Bessemer	»	»	»	»	»	»	»	»
Saône-et-Loire	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	69.568	22 795	7.914	100.277	73.166	20.420	7 029	100.615
Seine	Fondu au foyer Bessemer	»	180	»	180	»	415	»	415
Tarn	Puddlé	»	699	»		»	662	»	
	Cémenté	»	188	»	1.419	»	370	»	1.397
	Fondu au creuset	»	532	»		»	365	»	
Récapitulation	Fondu aux foyers Bessemer et Siemens-Martin.	303.222	73.575	17.355	394.152	332.121	74 982	20 213	427.316
	Puddlé et de forge	»	16 086	669	16.755	»	13.544	585	14.129
	Cémenté	»	2 798	»	2.798	»	2.778	»	2.778
	Fondu au creuset	»	8.167	302	8.469	»	7.857	253	8 110
	Obtenu par réchauffage de vieil acier.	»	158	84	242	»	1 430	290	1.720
	Totaux	303.222	100.784	18.410	422.416	332.121	100 591	21 341	454.053
	Augmentations					28.899	»	2 931	31.637
	Diminution					»	193	»	»

[illegible] ou massiaux transformés en produits marchands dans des départements autres que ceux où ils ont été fabriqués, tels [illegible]

PRODUCTION DES FERS.

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1881 RAILS.	1881 FERS marchands et spéciaux.	1881 TÔLES.	1881 PRODUCTION totale.	1882 RAILS.	1882 FERS marchands et spéciaux	1882 TÔLES.	1882 PRODUCTION totale.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes.
Aisne	Puddlé	»	»	1.190	1.190	»	»	767	767
Allier	Idem	3.091	20.706	11.171	35.797	1.906	25.021	11.451	38.378
	Affiné au charbon de bois	»	829	»		»	»	»	
Ardennes	Puddlé	»	46.836	15.727		70	47.813	18.128	
	Affiné au charbon de bois	»	105	»	76.550	»	112	»	79.955
	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons.	»	3.212	10.670		»	6.198	7.634	
Ariège	Puddlé	»	18.200	»	18.575	»	16.250	»	16.539
	Affiné au charbon de bois	»	375	»		»	289	»	
Aube	Puddlé	»	5.136	»		»	5.113	»	
	Affiné au charbon de bois	»	2.125	»	7.261	»	»	»	7.328
	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	2.215	»	
Aveyron	Puddlé	1.977	12.944	3.038	17.959	1.819	13.824	4.042	19.685
Bouches-du-Rhône	Puddlé	»	130	»	1.356	»	172	»	1.539
	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons.	»	1.226	»		»	1.367	»	
Charente	Puddlé	»	350	»	450	»	100	»	100
	Affiné au charbon de bois	»	100	»		»	»	»	
Cher	Affiné au charbon de bois	»	195	»	195	»	570	»	570
Corse	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons.	»	10	»	10	»	128	»	128
Côte-d'Or	Puddlé	»	12.115	»		»	12.210	»	
	Affiné au charbon de bois	»	1.816	15	15.446	»	1.990	23	15.663
	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons.	»	»	1.500		»	»	1.440	
Côtes-du-Nord	Puddlé	»	1.506	»	3.552	»	1.650	»	3.650
	Obt. p[r] réch. de vieilles fontes et ferrailles	»	2.046	»		»	2.000	»	
Dordogne	Puddlé	»	»	»		»	400	»	
	Affiné au charbon de bois	»	1.495	»	1.495	»	675	»	1.255
	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	180	»	

Doubs	Puddlé	»	»	155	15.545	»	»	160	14.730
	Affiné au charbon de bois	»	9.967	4.005		»	9.500	3.530	
	Obt. p^r^ réch. de v. fers, massiaux et largets	»	408	350		»	1.190	350	
Finistère	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	488	»	488	»	»	»	»
Gard	Puddlé	668	26.633	»	27.301	548	27.368	»	27.916
Garonne (Haute-)	Affiné au charbon de bois	»	4.426	»	4.426	»	1.250	»	3.320
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	2.070	»	
Gironde	Puddlé	»	2.160	»	4.199	»	1.500	»	3.845
	Affiné au charbon de bois	»	1.880	»		»	2.270	»	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers	»	159	»		»	75	»	
Ille-et-Vilaine	Idem	»	250	»	250	»	180	»	180
Indre	Affiné au charbon de bois	»	366	»	366	»	649	»	649
Isère	Puddlé	»	11.344	1 224	14.066	»	11.031	1.197	14.742
	Affiné au charbon de bois	»	115	28		»	45	»	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	1.355	»		»	2.469	»	
Jura	Puddlé	100	9.596	5.542	23.883	72	9.955	6.396	24.942
	Affiné au charbon de bois	»	229	588		»	321	468	
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et massiaux	55	4.250	3.523		»	4.909	2.821	
Landes	Affiné au charbon de bois	»	3.443	»	3.443	»	3.228	»	3.228
Loir-et-Cher	Obtenu par réchauffage de riblons	»	71	»	71	»	75	»	75
Loire	Puddlé	834	57.278	24.100	86.610	104	58.083	20.300	83.694
	Obt. p^r^ réch. de vieux fers et riblons.	»	4.398	»		»	5.207	»	
Loire-Inférieure	Puddlé	»	5.060	»	7.774	»	9.139	933	12.947
	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	2.714	»		»	2.875	»	
Lot-et-Garonne	Affiné au charbon de bois	»	50	»	50	»	25	»	25
Maine-et-Loire	Puddlé	»	35	»	35	»	3	»	108
	Affiné au charbon de bois	»	»	»		»	5	»	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	»	»		»	100	»	
Marne (Haute-)	Puddlé	»	75.936	6.744	89.010	»	78.845	6.170	90.515
	Affiné au charbon de bois	»	485	75		»	490	»	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	5.770	»		»	5.010	»	
	A reporter	6.725	360.323	90.305	457.353	4.519	376.144	85.810	466.473

PRODUCTION DES FERS (suite).

DÉPARTEMENTS.	DÉSIGNATION DU FER SUIVANT SON MODE D'ÉLABORATION.	1881 RAILS.	1881 FERS marchands et spéciaux	1881 TÔLES.	1881 PRODUCTION totale	1882 RAILS.	1882 FERS marchands et spéciaux.	1882 TÔLES.	1882 PRODUCTION totale.
		tonnes.	tonnes.	tonnes.	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes	tonnes
	Report................	6.725	360 323	90.305	457.353	4 519	376 144	85 810	466.473
Meurthe-et-Moselle	Puddlé..........................	»	34.247	9.187	44.098	»	38 455	9.808	49.111
	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	664	»		»	848	»	
Meuse...........	Puddlé..........................	»	18.961	239	19.860	»	19.353	110	19.963
	Obt. pr réch. de vieux fers et scories.	»	660	»		»	500	»	
Morbihan.........	Puddlé..........................	»	»	3.400	6.149	»	»	3.644	5.950
	Affiné au charbon de bois...........	»	»	2.222		»	»	1.998	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	»	527		»	»	308	
Nièvre...........	Puddlé..........................	741	14.366	»	18 088	281	16 776	»	17.912
	Affiné au charbon de bois...........	»	2.536	357		»	458	351	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	88	»		»	46	»	
Nord............	Puddlé..........................	19 263	279.788	23.677	322.748	21.237	289 531	24.662	335.430
	Affiné au charbon de bois...........	»	20	»		»	»	»	
Oise.............	Puddlé..........................	»	27.671	11.038	43.577	»	26.904	9.602	41.202
	Affiné au charbon de bois...........	»	886	2 236		»	605	2.446	
	Obtenu par réchauffage de vieux fers.	»	1.746	»		»	1.645	»	
Orne.............	Idem............................	»	140	»	140	»	»	»	»
Pas-de-Calais	Puddlé..........................	»	»	»	43	»	116	»	228
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	43	»		»	112	»	
Pyrénées-Orientales	Affiné au charbon de bois...........	»	560	»	560	»	592	»	592
Rhin (Haut-) Territoire de Belfort)......	Idem............................	»	1.960	»	1.960	»	2.167	»	2.167
Saône (Haute-)...	Puddlé..........................	»	»	214	1.320	»	»	115	1.110
	Affiné au charbon de bois...........	»	366	740		»	234	761	
Saône-et-Loire ...	Puddlé..........................	1.739	35 912	17.443	59.600	979	41 888	17.621	61.888
	Affiné au charbon de bois...........	»	148	4 334		»	»	4.250	
	Obt. pr réch. de vieux fers et riblons.	»	»	»		»	150	»	

Sarthe	Affiné au charbon de bois	»	98	»	98	»	»	»	126
	Obt. p[r] réch. de fers bruts et riblons	»	»	»		»	1[illegible]	»	
Savoie	Puddlé	»	»	»	178	»	111		179
	Affiné au charbon de bois	»	57				[illegible]	»	
	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons	»	121	»			»	»	
Savoie (Haute)	Puddlé	»	1[illegible]	1[illegible]			»		1 9 5
	Affiné au charbon de bois		[illegible]	[illegible]	1 0[illegible]	»	1[illegible]	[illegible]	
	Obtenu par réch. [illegible]		[illegible]			»	1[illegible]	[illegible]	
Seine	Puddlé	»	1[illegible]		[illegible]	»	[illegible]	»	14 261
	Obtenu par [illegible]		[illegible]			»	[illegible]		
Seine-Inférieure	Obtenu par [illegible]	»	[illegible]	»	1[illegible]	»			5[illegible]
Seine-et-Oise	[illegible]	»	2[illegible]	»	2[illegible]		2[illegible]	»	2 8[illegible]
Somme	Puddlé	»	1[illegible]	»	1[illegible]		1[illegible]	»	4 [illegible]7
Tarn	Puddlé	»	1[illegible]			[illegible]		»	2 0 7
	Obt. p[r] [illegible]	»	7[illegible]		2[illegible]	»	1[illegible]	[illegible]	
	Affiné au charbon de bois	»	»	»		»		»	
Tarn-et-Garonne	Puddlé	»	1 [illegible]0	»	1[illegible]				»
Vienne	Obt. p[r] [illegible]	»	[illegible]		[illegible]			»	8[illegible]
Vosges	[illegible]	»	[illegible]	1[illegible]	2[illegible]	»	1 [illegible]7	2 [illegible]	3 [illegible]
Yonne	Puddlé	»	1[illegible]	»			1[illegible]		12 0[illegible]
	Affiné [illegible]	»		»	1[illegible]		»	»	
	Obtenu par le [illegible] de vieux fers	»				»	[illegible]		
RÉCAPITULATION	Puddlé	28 11[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	7 [illegible]	[illegible]	[illegible] 5 100	28 283
	Affiné au charbon de bois	»	[illegible]	[illegible]	[illegible]		[illegible]	[illegible]	13 [illegible]
	Obt. p[r] réch. de vieux fers et riblons	5[illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]	»	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	Totaux	28 [illegible]	[illegible]	7[illegible]	[illegible]	7 [illegible]	[illegible]	[illegible]	[illegible]
	Augmentations					»	[illegible]		47 [illegible]
	Diminutions					1 [illegible]	»	3 77[illegible]	»

[illegible] dans des départements autres que ceux [illegible]

NOTE

SUR

UN NOUVEL APPAREIL POUR MANŒUVRE ET CALAGE

DES

AIGUILLES DE CHANGEMENT DE VOIE

PAR UN SEUL LEVIER

(SYSTÈME DUJOUR)

Lorsque des aiguilles de changement de voie sont manœuvrées à distance, l'aiguilleur est le plus ordinairement dans l'impossibilité de s'assurer *de visu* du bon fonctionnement de l'appareil, et il faut lui donner les moyens de constater d'une autre façon le contact parfait de l'une ou de l'autre aiguille contre le rail. Il importe, d'autre part, que les aiguilles soient assez solidement assujetties dans leur bonne position, pour qu'il n'y ait pas danger de les voir dérangées, autrement dit entrebâillées, à l'insu de l'aiguilleur, accidentellement ou par malveillance.

On obtient ce double résultat en verrouillant les aiguilles ou plutôt la tringle de manœuvre qui les actionne. Cette tringle est ordinairement percée de deux trous qui se placent à tour de rôle en face d'un verrou, quand les aiguilles sont à fond de course. Le verrou, mis en mouvement par un levier spécial, enclenche ainsi les aiguilles quand elles sont dans l'une de leurs positions extrêmes, c'est-à-dire faites pour l'une ou pour l'autre direction. Au contraire,

quand elles sont dans une position intermédiaire, c'est-à-dire entrebâillées, le verrou, ne rencontrant plus le trou de la tringle de manœuvre, vient buter par bout contre la face latérale de celle-ci, et oppose à l'action de son levier une résistance qui sert d'avertissement à l'aiguilleur.

Dans les appareils Saxby et Farmer, le levier de manœuvre du verrou actionne en outre le *locking-bar*, cet ingénieux appareil de sûreté d'autant plus utile que le champ des aiguilles est plus difficilement perceptible du poste de manœuvre. Il n'en faut pas moins double levier et double transmission rigide pour chaque jeu d'aiguilles, ce qui, dans certains cas, encombre les postes outre mesure et se traduit toujours en une augmentation de dépense.

L'appareil imaginé par M. Dujour permet d'actionner dans un seul mouvement, au moyen d'un levier et d'une transmission unique, les aiguilles, le verrou et le *locking-bar*; d'où économie de premier établissement et ensuite économie de temps pour l'aiguilleur.

Au lieu de deux trous, la tringle de manœuvre des aiguilles présente deux encoches sur sa face supérieure. Une autre barre qui glisse au-dessus de la tringle, à angle droit avec celle-ci, porte, suspendus à sa face inférieure, deux taquets ou verrous, lesquels peuvent s'engager et passer dans l'une des encoches quand la tringle de manœuvre est convenablement placée, c'est-à-dire quand l'une des aiguilles est jointive au rail. Au contraire, si les aiguilles sont entrebâillées, le taquet se trouve arrêté dans son mouvement par la tringle de manœuvre, contre laquelle il vient buter; ainsi se trouve réalisé l'enclenchement réciproque des aiguilles par le verrou et du verrou par la tringle de manœuvre des aiguilles.

Voici par quelle disposition les mouvements de ces divers organes sont coordonnés.

La transmission rigide A (Pl. II, *fig.* 1 et 2), venant d'un levier à distance, actionne par son milieu un balancier B, à

deux articulations mobiles J et K, qui sont elles-mêmes rattachées :

1° Aux aiguilles C au moyen de l'équerre D et de la tringle E;

2° A la barre G portant les verrous H et I (*fig.* 2 à 7).

Ces deux articulations J et K sont, à tour de rôle, fixes et mobiles, suivant que la tringle de manœuvre est calée par le verrou, ou le verrou par la tringle de manœuvre. Quand le point K est mis à l'arrêt, le balancier JK pivote autour de ce point fixe, et c'est l'articulation J qui se déplace; réciproquement si J est à l'arrêt et si K est rendu libre, c'est K qui pivotera autour de J.

Dans la position des *fig.* 2 et 4, la tringle E est calée par le verrou H pénétrant dans une de ses encoches, et les aiguilles sont ainsi maintenues dans une position invariable en contact avec le rail de gauche. C'est le point initial du mouvement qui va se produire quand on renversera le levier de manœuvre, de façon à imprimer à la transmission rigide un mouvement régulier et continu, d'amplitude déterminée, dans le sens de la flèche.

En se transmettant à l'appareil de calage, ce mouvement se décompose de lui-même en trois temps bien distincts :

Premier temps. — La tringle E étant calée par le verrou H, le point J est fixe, et c'est le point K qui se déplace en poussant la barre G et le verrou H, jusqu'à ce que le verrou I soit venu buter contre une partie pleine de la tringle E (*fig.* 5).

Par suite de ce mouvement le point K s'est transporté en K' (*fig.* 5, 6 et 8), le verrou H a dégagé l'encoche, et la tringle E se trouve décalée.

Deuxième temps. — La barre G étant arrêtée dans sa course et l'articulation K immobilisée, c'est le point J qui pivote à son tour pour venir prendre la position J' (*fig.* 6, 7 et 8), en entraînant l'équerre D, la tringle E et les aiguilles C, jusqu'à ce que ces dernières soient arrivées à fin

de course et butées contre le rail de droite ; à ce moment l'encoche F se présente en regard du verrou I, et rien ne fait obstacle à l'avancement de la barre G.

Troisième temps. — L'aiguille C est venue buter contre le rail de droite, et ne permet pas à la tringle E d'aller plus loin. De ce fait, l'articulation J' est redevenue fixe, tandis que l'articulation K est rendue libre. Alors cette articulation se transporte de K' en K'' (*fig.* 7 et 8) et le verrou I est introduit dans l'encoche F, de façon à maintenir les aiguilles calées dans leur seconde position.

C'est ainsi que, par un seul mouvement du levier de manœuvre, on a obtenu successivement : 1° le décalage des aiguilles ; 2° leur déplacement ; 3° leur recalage dans une autre position.

Quant au *locking-bar*, on sait qu'il faut, chaque fois qu'on déplace les aiguilles, lui imprimer le long du rail un avancement ou un recul d'une amplitude déterminée. Or le mouvement est précisément celui que la barre du verrou G ci-dessus décrite reçoit du levier de manœuvre, en sorte que rien n'est plus simple que de faire actionner le *locking-bar* par le verrou. Ces deux pièces sont reliées à cet effet par un balancier M (*fig.* 2, 5, 6 et 7), pivotant autour d'un axe O, et portant à son autre extrémité une fourchette qui embrasse un bouton saillant appartenant au *locking-bar*.

La *fig.* 1 représente la disposition adoptée par la Compagnie de Paris-Lyon-Méditerranée pour le *locking-bar* lui-même. Le chevalet qui lui imprime, dans les appareils ordinaires, son mouvement d'oscillation verticale, est remplacé par des galets Q, sur lesquels la barre P repose par l'intermédiaire de deux fourrures R, en forme de coins obtus, qui s'élèvent de la quantité voulue par l'effet du plan incliné, puis retombent de la même hauteur en passant d'un côté à l'autre du galet de roulement. Cette disposition procure à l'appareil une solidité qui ne laisse rien à désirer.

Depuis dix-huit mois environ la Compagnie des chemins

de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée a mis en service 250 appareils Dujour, qui ont donné des résultats très satisfaisants. Elle se propose d'appliquer ce système successivement à toutes les aiguilles manœuvrées à distance par des postes Saxby ou par des postes Vignier.

Le coût d'un appareil mis en place, avec son châssis de fondation, est de 200 francs, tandis que le prix d'un verrou avec levier indépendant est de 340 francs dans le système Vignier, et de 370 francs dans le système Saxby, sans tenir compte de la part afférente à chaque levier dans la construction du bâtiment. Quant à la transmission rigide, que l'on économise également, son prix, variable suivant la distance du poste à l'aiguille, peut être évalué à raison de 12 francs par mètre courant.

L'INDUSTRIE MINÉRALE

DANS LA

PROVINCE DE MINAS-GERAËS

Par M. A. de BOVET, professeur à l'École des mines d'Ouro-Preto (Brésil).

La région élevée et montagneuse qui forme le centre de la province de Minas est remarquablement riche en substances minérales diverses, les unes plus particulièrement intéressantes pour le minéralogiste, les autres, soit par leur valeur commerciale, soit par leur utilité industrielle, susceptibles d'exploitation. On sait que la province de Minas a fourni et fournit encore de l'or et du diamant ; on sait moins généralement qu'à côté des minerais d'or on y trouve d'abondants minerais de fer, dont la qualité ne le cède à celle d'aucun minerai connu, quelques minerais de plomb et de manganèse, un peu de platine; qu'à côté du diamant, il y existe toute une série de pierres colorées : des topazes et quelques euclases dans de nombreux gisements près d'Ouro-Preto, des aigues-marines, béryls, cymophanes, tourmalines vertes et rouges, andalousites dichroïques, grenats, améthystes, dans la région d'Arassuahy. On y trouve encore du quartz assez pur pour les usages industriels, du mica, et enfin du graphite. De nombreux échantillons de ce dernier minéral, provenant des environs de S. Joa-Baptista et notablement pur, rendent fort probable l'existence de gisements de bon graphite dans cette

région ; près d'Ouro-Preto, on trouve facilement de la plombagine.

Les combustibles minéraux, il est vrai, ne sont jusqu'ici représentés que par de rares gisements de lignite médiocre ; mais, du moins, l'existence d'immenses étendues boisées promet des ressources suffisantes à une industrie métallurgique même active.

Je ne prétends nullement faire l'étude de ces diverses matières au point de vue géologique ou minéralogique, sachant cette étude entreprise par l'éminent directeur de l'École des mines d'Ouro-Preto, M. Gorceix, beaucoup mieux qualifié que moi pour la mener à bien. Mais il est plusieurs d'entre elles dont l'exploration a été ou peut devenir une source de grandes richesses, tant pour la province que pour ceux qui voudraient se livrer à leur exploitation. C'est sur ce point que je désire appeler l'attention.

Parmi ces dernières, trois sont d'une importance plus spéciale, ce sont le diamant, l'or et le fer.

Il y a fort longtemps que les gisements de diamants sont exploités, et on en a déjà extrait une grande quantité de pierres précieuses ; ils sont encore exploités aujourd'hui, et les résultats que l'on obtient, malgré les défauts de cette exploitation, suffisent à prouver qu'il n'y a pas lieu de les abandonner.

Quant aux pierres colorées, qui ont été exploitées autrefois et sont en ce moment abandonnées, je ne m'en occuperai pas. Elles ont une valeur trop variable, trop sujette aux caprices de la mode, qui parfois les abandonne complètement, pour pouvoir donner lieu à des exploitations régulières, du moment qu'il ne s'agit que de celles de ces pierres que l'on rencontre à Minas, où n'existent ni rubis, ni saphirs, ni émeraudes.

Comme les gîtes de diamants, les gisements d'or sont exploités depuis longtemps et le sont encore aujourd'hui :

comme pour les premiers, bien plus encore que pour les premiers, il s'en faut de beaucoup qu'ils soient épuisés et il n'est nullement douteux que l'exploitation de l'or à Minas doive encore fournir une longue carrière.

Je laisserai de côté le platine, que l'on ne trouve que très accidentellement.

Les exploitations d'or et de diamant sont les seules qui, jusqu'ici, aient pris à Minas un développement sérieux; la cause en est aux difficultés des transports et à leur prix élevé que seules pouvaient payer des matières précieuses. Ces conditions sont sur le point de changer : divers chemins de fer s'approchent de la région de la province riche en minerais, ils y vont pénétrer bientôt, plus tôt heureusement qu'on n'aurait osé l'espérer il y a peu d'années encore. Grâce à eux, l'industrie du fer, née bien après celle de l'or et des diamants, restée jusqu'à présent dans un état tout à fait rudimentaire, viendra prendre sa place à côté de ses aînées et ne tardera pas à les dépasser en importance. C'est celle qui, à mon sens, offre actuellement les plus belles chances d'avenir, comme j'espère le montrer. La métallurgie du fer au bois ne peut, il est vrai, atteindre le développement des grands établissements qui travaillent au coke, mais, dès aujourd'hui, elle a devant elle des éléments de succès plus que suffisants, et il est difficile de prévoir ce qu'elle pourra devenir avec les minerais supérieurs qu'elle a à sa disposition, le jour où l'on aura découvert des procédés pratiques pour l'extraction directe du métal de son minerai.

Les minerais de plomb commencent également à appeler l'attention : ils la méritent, tant par leur richesse en argent que par le secours qu'ils pourront peut-être apporter à l'extraction de l'or.

Telles qu'elles sont pratiquées aujourd'hui, les industries extractives de la province, sauf de rares exceptions que je signalerai, n'emploient que des appareils connus et

usités couramment un peu partout. Je me contenterai de les indiquer par leur nom, sans m'astreindre à une description fort inutile. Je m'attacherai surtout à bien montrer quelle est la situation actuelle, au point de vue de la consommation, de la production et des ressources du pays pour l'une ou pour l'autre, et je n'indiquerai les procédés suivis que pour permettre au lecteur de juger par lui-même de l'adaptation plus ou moins bonne de ces procédés à cette situation.

En un mot, au lieu de décrire en détail quelques procédés de travail médiocrement intéressants par eux-mêmes, je chercherai surtout à étudier quelles sont actuellement les conditions de la production du fer, de l'or et du diamant dans la province de Minas-Geraës.

FER.

Gisement des minerais. — L'abondance des minerais de fer dans la province de Minas, leur richesse, leur pureté, sont véritablement extraordinaires; il est impossible que le voyageur, même le plus inattentif et le plus étranger aux études minéralogiques, n'en soit pas frappé. Presque partout, en effet, dans le centre de la province, on les rencontre, tantôt en affleurements énormes, fouillés quelquefois à ciel ouvert jusqu'à de grandes profondeurs par les chercheurs d'or, tantôt mêlés à la poussière des routes, sous forme de petites paillettes de fer oligiste, produisant alors à certaines heures de la journée un scintillement que les yeux ont peine à supporter, tantôt encore déposés en masses considérables dans le lit et sur le bord des rivières qui les charrient au moment des crues. D'autres fois, sous forme de dépôts superficiels formés aux dépens des gisements voisins, ils constituent pendant des lieues le sol des routes. Dans certaines villes même, comme par exemple à Ouro-

Preto, le tiers au moins des pierres employées à la construction des murs de soutènement, fort nombreux dans une ville bâtie à flanc de coteau, ne sont autre chose que des morceaux d'excellent minerai.

Tous ces minerais si nombreux appartiennent à la catégorie des fers oligistes. Ce sont :

Du fer oligiste aréneux, mêlé de quelques grains de quartz formant une roche jamais solide, parfois extrêmement friable (itabirite, jacutinga), roche souvent aurifère, parfois d'une richesse considérable, et qui, du reste, en bien des points, a été et est encore aujourd'hui exploitée comme minerai d'or, par exemple à Gongo-Socco anciennement, et aujourd'hui encore à Morro-de-Santa-Anna.

Du fer oligiste micacé, mêlé également à du quartz en grains fins formant aussi une roche friable.

Du fer oligiste spéculaire, quelquefois en magnifiques cristaux.

Du fer oligiste compact formant alors une pierre extrêmement dure et tenace, à grains très fins, telle qu'en certains points, où la gangue n'existe pas, on dirait la cassure d'un barreau d'acier, n'était la couleur plus foncée.

Enfin un conglomérat couvrant, avec une épaisseur d'ordinaire faible, des étendues de terrains énormes au pied des gisements de fer oligiste. Cette roche est dans le pays connue sous le nom de *canga :* elle est manifestement formée aux dépens des autres gisements ; il est, en effet, facile d'y reconnaître des morceaux des diverses roches de fer oligiste reliés par un ciment d'hématite rouge. Cette roche, par suite même de son mode de formation, est pleine de cavités ; solide du reste et résistante, de même composition et sensiblement de même richesse que les minerais qui lui ont donné naissance, mais poreuse, n'ayant pas par conséquent l'inconvénient que présentent, au point de vue de la réduction dans les fours, les roches compactes et peu perméables, elle me paraît constituer

un minerai exceptionnel, fait à souhait pour satisfaire aux nécessités du traitement métallurgique.

Ces divers minerais sont souvent mélangés d'un peu de fer magnétique; parfois même, exceptionnellement, ils passent entièrement à des masses considérables de fer oxydulé.

Tous sont remarquablement purs. Il m'en est passé par les mains un très grand nombre d'échantillons : je n'y ai jamais trouvé trace de phosphore ni de soufre. La gangue unique paraît être le quartz, toujours du reste en faible proportion, de 3 à 6 p. 100, sauf pour la *canga* où il peut être un peu plus abondant. Et non seulement on n'y rencontre aucune matière nuisible, mais on y trouve presque toujours du manganèse, en proportion fort variable du reste, à l'état de traces souvent, d'autres fois en quantité notable : j'ai trouvé dans certains échantillons jusqu'à 9 p. 100 de ce métal (Gandarella).

Tous ces minerais d'une qualité si remarquable, égaux, sinon supérieurs aux meilleurs minerais de Suède, d'Algérie ou des Pyrénées, ne coûtent ici que la peine de les ramasser. Par endroits, ce sont des affleurements énormes, à flanc de coteau, comme à Pitanguy, par exemple, où grâce aux travaux des chercheurs d'or, on peut voir d'un seul coup d'œil sur une étendue de plusieurs kilomètres, les affleurements d'une couche de 150 à 200 mètres de puissance. Ailleurs, ce sont d'immenses étendues de canga, dépôt superficiel dont l'épaisseur atteint parfois jusqu'à 8 et 10 mètres. Partout, on peut dire, les ruisseaux portent et déposent le fer oligiste pulvérulent, tout lavé, prêt pour qui le veut prendre.

Et ce n'est pas ici d'un petit nombre de points particuliers qu'il s'agit. J'ai cité quelques noms, j'en aurais pu citer bien d'autres. La route qui, de Rio de Janeiro à Diamantina en passant par Ouro-Preto, traverse sensiblement suivant une ligne S.-N. la partie centrale de la province de

Minas, suit à peu près, à partir de quelques lieues au sud d'Ouro-Preto, l'arête supérieure de la Serra de Espinhaço, ligne de partage des eaux entre les deux grands bassins du Rio Doce et du Rio San-Francisco. Qui suit cette route, rencontre les premiers gisements de minerais de fer près de Congonhas, à environ 55 kilomètres au sud d'Ouro-Preto, pour ne les perdre qu'à Cocaes, à 75 kilomètres au nord de la même ville. C'est dans cette région que se trouvent les immenses dépôts qui entourent le pied de la Serra de Caraça.

Ces minerais reparaissent aux environs d'Itabira de Matto-Dentro, disparaissent à nouveau, se retrouvent un peu avant le village de Morro-de-Gaspar-Soares, pour ne cesser de nouveau qu'à 50 kilomètres environ de la ville de Sorro et à 70 kilomètres de Morro-de-Gaspar-Soares. On les retrouve enfin aux environs de Diamantina.

A droite de cette ligne principale, je signalerai les dépôts si considérables des environs de San Miguel do Piracicaba; à gauche ceux de Taquaril et de la Serra de Piedade, et ce n'est là que la partie centrale de la province de Minas.

A ne considérer que les seuls dépôts du pied de la Serra de Caraça, M. Gorceix évalue leur masse à 8.000.000.000 de tonnes: il ne s'agit que d'un point parmi ceux que je viens de citer, et je ne doute pas, pour ma part, que cette évaluation soit au-dessous de la vérité. Toute tentative d'évaluation, au reste, me paraît superflue, à moins que ce ne soit pour frapper plus vivement par des chiffres considérables l'esprit du lecteur; quiconque aura parcouru ces régions, vu ces masses énormes d'oxyde de fer, aura nécessairement l'impression qu'il y a là des dépôts pratiquement inépuisables, et cela quelle que doive être un jour l'activité de la production.

Combustible. — Malheureusement ce pays, si remarqua-

blement partagé au point de vue des minerais, ne l'est pas aussi bien, tant s'en faut, au point de vue des combustibles. On n'y a pas, jusqu'ici, rencontré trace de houille, et tout au moins pour la région centrale d'Ouro-Preto à Diamantina, la nature des terrains est telle qu'il n'y a nulle probabilité d'y pouvoir trouver ce combustible. Peut-être n'en est-il plus ainsi quand on s'écarte à droite vers le bassin du Rio Doce, à gauche vers celui du San Francisco; je ne voudrais plus alors affirmer l'absence de la houille; personne, je crois, ne le pourrait faire, mais rien non plus, jusqu'ici, ne nous autorise à admettre son existence.

En pleine région des minerais de fer, au pied de la Serra de Caraça, à Fonseca à l'est, à Gandarella à l'ouest de cette Serra, je connais l'existence de deux bassins de lignites, dépôts relativement récents puisqu'on y trouve des empreintes de feuilles d'arbres appartenant à des espèces encore vivantes. Les premiers, les lignites de Fonseca, sont de qualité détestable, en couches extrêmement minces, aux affleurements du moins, très mêlés de cendres, en conditions telles, en un mot, qu'ils paraissent inutilisables.

Il n'en est déjà plus de même à Gandarella, où le dépôt assez puissant pourrait se prêter à l'exploitation. Là le charbon est plus propre, il tient 14 à 15 p. 100 de cendres seulement, brûle bien, sans encrasser les grilles, avec une flamme courte et un pouvoir calorifique un peu faible à cause de la forte proportion d'eau qu'il contient, mais même ainsi il me paraît constituer pour la métallurgie un combustible bien médiocre.

A ces deux gisements il n'y a nulle invraisemblance à admettre que l'avenir en viendra joindre d'autres ; j'ai même lieu de le croire, ayant eu dernièrement entre les mains des échantillons de charbon bien supérieur à celui de Gandarella, et s'approchant plus des houilles sèches que des lignites.

Mais à s'en tenir aux choses sûres, il est clair que l'existence de ces gisements de lignites n'a pour la métallurgie qu'un intérêt d'avenir, quand cette industrie sera suffisamment développée pour pouvoir utiliser sous forme de gaz un combustible qui ne pourrait guère être utilisé directement, tandis qu'il se prêterait fort bien à la gazéification.

En fait, pour le moment, le véritable combustible est et sera sans doute encore longtemps le charbon de bois. Il ne sera donc pas superflu de lui consacrer quelques mots.

La province de Minas est un peu plus grande que la France et ne possède guère que 2.000.000 d'habitants. La partie sud, depuis les limites de la province de Rio de Janeiro jusqu'à la Serra de la Mantiqueira, livrée en grande partie à la culture du café, est celle où la population est le plus dense. Il est donc permis de dire que c'est un territoire immense à peu près inhabité. Malgré la coutume des habitants de brûler annuellement des étendues considérables de bois pour faire quelques rares plantations, il reste encore une grande quantité de forêts et il ne semble pas que l'accroissement de la population doive de longtemps nécessiter leur disparition. Aussi, si les combustibles minéraux sont rares, il n'y a pas actuellement et il n'y aura pas de sitôt difficulté à se procurer du charbon de bois, et cela à des prix qui se maintiendront longtemps encore aux environs de ce qu'ils sont aujourd'hui.

L'évaluation absolument exacte de ces prix est assez difficile. Il est très rare de rencontrer, même dans les forges, des balances; les fabricants ne pèsent rien, ni minerai, ni charbon, et évaluent ce dernier par charges de mulets, attendu qu'il est toujours transporté de la forêt à la forge à dos de mules. J'ai pu cependant quelquefois peser ces charges et je resterai au-dessous de la vérité en admettant pour leur poids moyen 80 kilogrammes.

La majeure partie des charbonniers fabrique aujourd'hui

encore le charbon en fosses creusées en terre avec une longueur de 2 mètres au plus sur une largeur de 1 mètre en haut et une profondeur de moins de 1 mètre. Le charbon qui en sort, carbonisé très vite, est léger, friable, extrêmement menu, absolument détestable pour les usages auxquels il est destiné. Le rendement faible est encore réduit par ce fait que dans ces fosses on ne peut obtenir du charbon qu'avec du bois déjà gros, de telle sorte que les menus branchages sont absolument perdus. En outre, dans les environs de chaque fosse les racines sont tuées, de sorte que l'application de ce procédé amène en un temps relativement court la destruction absolue d'une forêt.

Ce procédé de carbonisation, qui est encore le plus employé, tend cependant à disparaître pour faire place à la carbonisation en meules. Les meules sont trop petites, les plus grandes ne donnent au maximum que 1.500 kilog. de charbon, encore celles-là sont-elles rares et le plus souvent on ne tire d'une meule que 300 à 500 kilog. de charbon ; elles sont médiocrement construites, le feu y est mal conduit, elles fournissent cependant déjà un charbon de qualité acceptable et leur rendement est en moyenne le double du rendement en fosses, car on y carbonise tout bois, menu ou gros. On pourrait faire mieux encore en construisant de grandes meules et en les conduisant régulièrement : on obtiendrait alors un charbon excellent, comme il arrive par exemple à la fabrique de fer d'Ipanema dans la province de Saint-Paul, et les frais seraient encore réduits. J'arriverai donc, en prenant les conditions actuelles de la fabrication en petites meules, à un prix qui certainement pourrait être réduit et qu'on devra considérer comme un maximum.

Or, dans les environs de San-Miguel de Piracicaba, où cette fabrication est la plus développée et est devenue à peu près courante, le fabricant de fer, fournissant les arbres abattus mais non débités, les mulets pour le

transport, et la nourriture, paye au charbonnier la charge de charbon portée à la forge 0f,80, soit environ 0f,01 le kilogramme. Au prix où sont dans ces régions les terrains et la nourriture d'un homme et d'un mulet, les divers frais que supporte, comme je viens le dire, le fabricant de fer ne peuvent pas s'élever à une fois et demie ce prix. Admettons-le pourtant, cela ne ferait encore que 25 francs par tonne et ce sera là un maximum; cela deviendra surtout un maximum si, en adoptant une préparation plus régulière, on arrive, tout en obtenant un produit meilleur, à diminuer les frais. Ce prix maximum est cependant encore inférieur au prix du coke en Europe.

J'ajouterai qu'un hectare de forêt, dont la valeur moyenne est d'environ 10 francs, produit en une coupe, par l'emploi des procédés actuels, 12 à 13 tonnes de charbon et que les coupes peuvent être répétées à la rigueur tous les douze ans, mais dans d'excellentes conditions tous les quinze ans.

En résumé, on le voit, il sera longtemps possible dans la province de faire de la métallurgie au bois dans de bonnes conditions au point de vue du prix du combustible. D'autre part, dans ce pays montagneux, les chutes d'eau sont abondantes, et en général faciles à utiliser.

Moyens de transport. — Reste un dernier point qui n'a rien à voir avec la fabrication même du fer, mais qui, au point de vue de l'écoulement des produits et de l'organisation actuelle de la production, a une telle importance que je ne puis le passer sous silence : je veux parler des transports. En dehors de la partie sud de la province, où l'on cultive le café sur une grande échelle et qui est un peu moins mal pourvue, l'état des communications est, on peut le dire, déplorable. On ne sait pas ici ce qu'est une bonne route de roulage. Il y a bien quelques voies de communication décorées du nom de routes, comme

par exemple celle qui, de l'extrémité du chemin de fer de D. Pedro II, va à Diamantina et dans le nord en passant par quelques-unes des principales villes de la province, Ouro Preto, Santa-Barbara, Itabira, Conceiçao, Serro, et qui est une des plus importantes. Sur la moitié de sa longueur, jusqu'aux environs d'Itabira, elle est accessible à des chars; ce sont d'ordinaire des chars à deux roues pleines en bois, à essieu en bois qui tout le long du chemin produit un grincement plaintif; attelés de bœufs et cheminant péniblement de montées en descentes, ils font songer à ce que devaient être les charrois au temps des Mérovingiens; ce sont plus rarement de grands chariots allemands à quatre roues, sans ressorts, également attelés de bœufs. A partir d'Itabira cette route n'est plus qu'un sentier (et quel sentier!) au moins pendant les 100 derniers kilomètres avant d'arriver à Diamantina. Là, les mulets seuls peuvent passer, et encore parfois avec difficulté.

Partout, dans l'intérieur de la province, il en est de même; par place ces chars primitifs peuvent circuler; ils portent alors jusqu'à 1200 kilog., on les attèle de 18 bœufs et ils font péniblement 12 kilomètres par jour. Partout ailleurs les transports se font exclusivement à dos de mulet : les prix sont à peu près les mêmes dans l'un et l'autre cas, les chars n'étant guère employés que pour les matières lourdes et volumineuses qui ne peuvent se diviser : ce prix, aux environs d'Ouro Preto, est en moyenne de 2 francs la tonne kilométrique.

Il n'est que juste d'ajouter qu'on fait de louables efforts pour remédier à un tel état de choses. Les chemins de fer, déjà nombreux dans le sud de la province, pénétreront dans le centre : déjà dans un an ou deux le plus important des chemins de fer brésiliens, celui de D. Pedro II, atteindra à Congonhas de Campo l'entrée de la région des minerais de fer; probablement dans un avenir peu éloigné un autre chemin de fer pénétrera dans la même région par le

bassin du Rio Piracicaba. Les chemins de fer sans doute précéderont les routes (je veux parler des vraies routes) et cela n'a rien qui doive surprendre, mais ce sont encore là choses dont il n'y a lieu de tenir compte qu'au point de vue d'une transformation à venir. En outre si les chemins de fer brésiliens n'en arrivent pas à modifier profondément leurs tarifs, ils ne prêteront à l'industrie du fer qu'un bien faible secours.

En somme, abondance extraordinaire de minerais de qualité exceptionnelle, charbon de bois à des prix fort admissibles, force motrice abondante, mais nécessité de ne produire que pour la consommation locale, telles sont les conditions qui sont faites actuellement à la métallurgie du fer dans la province de Minas. Je vais examiner maintenant l'organisation qui en est résultée.

Historique de l'exploitation. — Pendant presque toute la durée de l'occupation portugaise, la province de Minas, où les premiers émigrants avaient été appelés par la recherche de l'or et du diamant, fut soumise à un régime exceptionnel dont le but, dans l'esprit de ses inventeurs, était avant tout de permettre une surveillance facile et rigoureuse de la production, au profit de la métropole, de ces matières précieuses, du diamant surtout. La province, on peut le dire, fut condamnée exclusivement à l'extraction de l'or et du diamant, et parmi toutes les prescriptions singulières des lois de cette époque, une des plus étranges à coup sûr est celle qui prohibait la fabrication du fer dans une région où le minerai était si abondant et où ce métal était indispensable à la seule industrie qui fût permise.

Il fallut l'installation à Rio-de-Janeiro de la cour du Portugal pour introduire dans le pays une législation moins draconienne : beaucoup des anciennes prohibitions disparurent alors, entre autres celle à laquelle je viens de faire

allusion, et en 1809 fut créée la première fabrique de fer de la province. Elle était due à l'initiative d'un homme actif et entreprenant, placé à la tête de l'administration des terrains diamantifères (Administration de l'Extraction), l'intendant Camara de Bittencourt et Sa, qui a laissé dans le pays une réputation considérable. Il fit construire un haut-fourneau au village du Morro de Gaspar Soares et fit venir comme travailleurs quelques ouvriers suédois. L'usine était assez singulièrement placée, en haut d'une montagne ou peu s'en faut; on dut établir à grand' peine des réservoirs pour lui fournir une quantité d'eau insuffisante, alors qu'au pied même de la montagne coule une rivière déjà considérable. Il est permis de croire qu'à cette époque les communications et les transports étaient encore plus pénibles et plus coûteux qu'aujourd'hui, et que, dans ce pays où le minerai abonde de tous côtés, la création de quelques petites forges analogues aux forges catalanes, à faible production et convenablement réparties, aurait été plus rationnelle. Aussi bien la tentative échoua complètement et rapidement : elle eut le tort de bien d'autres dues à l'initiative du même intendant Camara, qui semble avoir eu toujours plus de facilité à entreprendre des œuvres considérables qu'à se rendre compte de leurs chances de succès. Des ouvriers venus de Suède, quelques-uns au moins restèrent dans le pays et probablement ce furent eux qui plus tard commencèrent à organiser les premières petites forges qui aient réellement travaillé dans la province.

A quelque temps de là, dans une autre région, près de San Miguel do Piracicaba, un ingénieur des mines français, M. de Monlevade, arrivé au Brésil vers 1817, créait, à l'endroit qui aujourd'hui porte son nom, une forge catalane. Le choix de ce procédé de fabrication était, je crois, fort judicieux et parfaitement approprié aux besoins du pays ; les résultats très brillants fournis par cet établissement ne

peuvent que confirmer cette manière de voir. Malheureusement il ne semble pas qu'il ait eu sur le développement de l'industrie du fer toute l'influence qu'il aurait pu avoir.

Aujourd'hui, en effet, dans la région d'Ouro Preto à Diamantina, il y a environ 80 petites forges en activité, groupées pour la plupart au pied de la Serra de Caraça ou aux environs de S. Miguel do Piracicaba; il n'y a pas de haut fourneau, ce qui ne me surprend pas, mais il n'y a plus de forge catalane. Peut-être faut-il l'attribuer aux soins constants qu'exige, pour donner de bons résultats, la conduite d'un feu catalan, et qui ne sont guère compatibles avec les procédés de travail des habitants de ce pays.

De ces 80 forges, le plus grand nombre, la presque totalité, emploie le procédé connu ici sous le nom de méthode des *Cadinhos*, quelques-unes le procédé dit *Italien*.

Méthode des Cadinhos. — Le système des *Cadinhos* n'est, je crois, décrit nulle part. Il présente quelques analogies avec certains procédés primitifs décrits par le docteur Percy dans sa *Métallurgie* et employés par les indigènes de l'Inde ou par les nègres de l'Afrique. Peut-être du reste a-t-il été introduit au Brésil par quelque nègre esclave amené d'Afrique, et quelque peu perfectionné depuis; peut-être au contraire provient-il de quelque fourneau construit par les ouvriers suédois de Camara et insensiblement transformé. Quoi qu'il en soit, je vais en quelques mots indiquer en quoi il consiste.

Le four *Cadinho* est une cavité cylindrique, à section circulaire ou très légèrement elliptique, de $0^m,25$ à $0^m,30$ de diamètre et de 1 mètre à $1^m,20$ de profondeur. Sur l'une des faces du massif la paroi du cylindre est éventrée de façon à former une ouverture de $0^m,30$ sur $0^m,30$, dont la base est au niveau du fond du fourneau, et qui pendant le travail est bouchée avec la poussière charbonneuse du sol de la forge. A l'opposé de la porte et à $0^m,20$ environ au

dessus du sol est la tuyère, traversée par une buse en fer qui ne pénètre pas dans le fourneau. La tuyère reste en général ouverte pendant le travail. Le vent est fourni partout par des trompes, appareils qui sans aucun doute auront été introduits, soit par les ouvriers suédois, soit par M. de Monlevade. Toute la canalisation du vent jusqu'à la buse est faite exclusivement en bois. Les parois sont construites en grosses pierres (granite ou quartzite), jamais en briques; cette maçonnerie forme un massif de 1 mètre à 1^{m},20 de haut, sur environ 1^{m},50 de large et 3 mètres de long, qui contient trois cadinhos. D'ordinaire, chaque forge possède deux de ces massifs, soit six cadinhos. Trois seulement travaillent à la fois, la durée de la campagne étant d'un jour (on ne travaille jamais la nuit); on répare, quand ils sont hors feu, les parois intérieures des fours avec un peu d'argile ordinaire.

Le matériel d'une forge est complété par un marteau et un feu pour le réchauffage du fer. Ce feu est un simple feu de forge ordinaire. Quant aux marteaux, ils sont toujours mus par une roue hydraulique, le plus souvent une roue à augets recevant l'eau avec une très grande vitesse; ils sont soulevés soit par la tête, soit par la queue; on en trouve, en fait, de tous les modèles. La tête pèse de 75 jusqu'à 120 kilog. et ils peuvent battre de 60 à 100 coups par minute.

Pour faire une loupe, le fourneau étant plein de charbon, on l'allume en introduisant un morceau allumé par la tuyère et en donnant le vent; dès que le feu est bien allumé, à mesure que le niveau du charbon baisse on en rajoute de façon à le maintenir toujours au niveau du gueulard et chaque addition est suivie immédiatement d'une addition d'un peu de minerai pulvérulent, humide, que l'ouvrier répand au-dessus du charbon. Chacune de ces charges de minerai peut peser au maximum 1 kilog., et je présume qu'on charge ce minerai humide pour qu'il ne

soit pas si facilement chassé par le vent. Au bout d'une heure et demie à une heure trois quarts on laisse tomber le feu et on trouve au fond du four une loupe, qui est extraite par la porte inférieure et portée au marteau. La loupe agglomérée par ce premier travail au marteau, mais encore très chargée de scories, est ensuite réchauffée au feu de forge pour être amenée à l'état de barres. Il est rare qu'on coule la scorie durant le travail, c'est à peine si, au moment de l'extraction de la loupe, il en coule quelques grammes.

Le minerai employé dans ces opérations est toujours du fer oligiste en poussière fine. Certaines forges le trouvent directement à cet état dans son gisement; s'il y a très peu de gangue on l'emploie tel quel; d'autres fois, ces variétés aréneuses étant les plus chargées de quartz, on le lave avant de l'employer. Quelques fabriques trouvent leur minerai naturellement lavé dans le lit des ruisseaux qui passent à leur porte. Ceux enfin qui ne disposent que de variétés compactes broient le minerai dans des bocards et le lavent sommairement à sa sortie de ces appareils. En fait, on peut, je crois, admettre que toutes ces fabriques emploient un minerai composé de 95 ou 96 p. 100 de sesquioxyde de fer et de 4 à 5 p. 100 de sable quartzeux et n'en obtiennent cependant qu'un rendement très faible.

Le simple exposé de la marche de l'opération suffit à expliquer la faiblesse du rendement. Le combustible employé est du charbon de terre léger et poreux qui brûle très vite; les charges descendent donc rapidement et ne sont qu'imparfaitement réduites; la loupe vient se former juste sous le vent de la tuyère, mais c'est, je crois, surtout la richesse exagérée du minerai qui est nuisible. Le défaut serait facile à corriger, mais, comme on l'a vu, les fabricants s'attachent à l'exagérer. Il se produit, comme je l'ai dit, fort peu de scorie et cette scorie est extrêmement pâteuse; cela s'explique tout naturellement par la faible

proportion de silice du minerai, et la loupe qui sort du feu se trouve entourée d'une couche extrêmement épaisse d'un conglomérat formé de minerai mal réduit, de fer métallique et de charbon empâté par un peu de cette même scorie qui n'a pu couler. Sous le marteau même il n'en coule que quelques gouttes, mais après les premiers coups toute cette enveloppe de la loupe se brise et tombe en morceaux sans qu'il ait été possible de réunir le fer qui s'y trouve mélangé. La loupe perd ainsi près de la moitié du volume qu'elle avait au sortir du fourneau, et il est facile de se rendre compte de l'importance des matières ainsi détachées en voyant les amoncellements considérables qu'elles forment autour des forges après quelques années de travail et malgré le peu d'activité de ce travail.

Voici, du reste, un exemple de la composition de ces matières, qui vient à l'appui de ce que j'avance :

Scorie d'un cadinho (*).

	Silice.		18,5
	Alumine.		9,9
	Sesquioxyde de fer.		81,5
Correspondant à	Fer métallique	56,9	
	et protoxyde de fer	73	
	Chaux		traces.

On voit par ces chiffres qu'il y a une proportion de fer trop forte pour que ce fer soit entièrement à l'état de protoxyde. Il y a, en effet, du fer métallique en grains très fins, comme il est facile de le constater avec un aimant sur la scorie réduite en poudre fine. On pourrait, je pense, admettre comme composition :

Silice	18,5	99,7
Alumine	9,9	
Protoxyde de fer	65,5	
Fer métallique	5,8	

(*) Cette scorie provient de l'une des forges qui traite les minerais les plus mélangés de gangue, sable et argile.

D'autres tiennent un peu de chaux. C'est ainsi que j'ai trouvé dans une autre scorie : silice, 17,2 ; chaux, 3,2 ; alumine et sesquioxyde de fer, 94.

Et dans une troisième : silice, 14,5 ; chaux, 2,5 ; alumine et sesquioxyde de fer, 91,5.

Matière détachée pendant le travail et provenant du même fourneau que la première scorie :

Silice	5,3
Alumine et sesquioxyde de fer	119,0

Ces matières sont très hétérogènes ; il est facile de voir sous le marteau qu'elles se composent par places de scories et par places presque exclusivement de fer. Je ne saurais donc prétendre que les indications ci-dessus représentent bien réellement la composition moyenne. Quoiqu'il en soit, elles se rapportent à un morceau sans charbon et on pourrait peut-être admettre, d'après la proportion de silice, que cette matière se composerait de :

Scorie	28
Fer et oxyde de fer	72

Le morceau analysé contient 83 p. 100 de fer.

J'ai pu, quoique rarement, peser le minerai employé à une opération et le fer produit par la même opération. Il résulte des quelques données que j'ai ainsi obtenues, que du minerai qui doit tenir aux environs de 65 p. 100 de fer, rend en moyenne, par ce procédé, 22 p. 100.

Toutes les matières détachées des loupes sont accumulées près des forges, elles y forment des dépôts d'un vrai conglomérat de matière ferrugineuse et charbon, tenant, comme on vient de le voir, de 55 à 80 p. 100 de fer ; matière solide, poreuse, formant par le fait un véritable minerai, d'autant meilleur que ces scories ne participent pas des inconvénients des scories de forge ordinaires, puisqu'elles sont produites par le traitement d'un minerai qui ne contient aucun élément nuisible.

Le fer produit est très doux, malléable même à froid, extrêmement facile à travailler, mais toujours malpropre. Il n'en peut guère être autrement, puisque la loupe était mélangée de scories extrêmement pâteuses, et que, d'autre part, les marteaux sont légers. Il y a quelques exceptions, comme par exemple à la forge de Gandarella, qui livre à la consommation un fer véritablement excellent et propre. Cela est dû en partie à un travail plus soigné, mais surtout, je crois, à ce qu'une partie du minerai traité est riche en manganèse, de sorte que les scories, plus fluides, peuvent être plus facilement et plus complètement expulsées, quoique le marteau soit le même que celui des autres forges.

La loupe produite à chaque opération donne 7 à 8 kilog. de fer en barres. Chaque four peut faire dans sa journée de trois à cinq opérations, de sorte qu'une forge ayant six fourneaux, dont trois en feu chaque jour, peut produire journellement de 80 à 120 kilog. de fer.

La consommation de charbon est considérable et va parfois jusqu'à 700 et 800 p. 100. Le charbon employé est, en effet, mauvais, et surtout fort mal utilisé; il sort du gueulard de ces fours une longue flamme d'oxyde de carbone qui suffirait à le prouver. En fait, il est clair que ces fourneaux travaillent dans les mêmes conditions que la région des forges catalanes où l'on charge la greillade. Or, la charge de greillade, dans une forge catalane, est un peu moins de la moitié de la charge totale, il n'est donc pas surprenant que la consommation de charbon dans les cadinhos soit plus du double de ce qu'elle est dans ces forges.

Un fondeur suffit à surveiller les trois fours en feu dans une forge; il a un aide qui lui approche le minerai et le charbon. C'est parfois ce même ouvrier qui, après avoir produit une loupe, va la battre au marteau; il ne peut guère alors faire par chaque four plus de trois loupes

dans sa journée; encore doit-il réserver un jour de la semaine pour reprendre les loupes, les réchauffer et les amener à l'état de barres. Plus souvent, un ouvrier spécial est chargé du travail de la loupe, le fondeur peut alors faire en moyenne cinq opérations par jour dans chacun de ses trois fours.

Dans ce dernier cas, on produira par jour, avec trois hommes employés à la forge, de 110 à 120 kilog. de fer; en tenant compte du charbon employé au feu de forge pour le réchauffage, on arrive à une consommation de combustible de 650 à 700 p. 100 dans les forges où l'on travaille régulièrement. J'estime donc que les frais de production de la tonne de fer en barres produite avec des cadinhos, peuvent être évaluées très sensiblement à

Main d'œuvre.	27 journées.
Charbon	7.000 kilog.
Minerais	4.000 kilog. au moins.

Voici, du reste, quelques données relatives à un certain nombre de forges de cadinhos :

FORGES.	NOMBRE des feux.	PRODUCTION par jour.	COMBUSTIBLE.
Gervasio.	3	100 kilog.	1.000 kilog. à 1.100 —
Chico-Padre	3	68 —	500 —
Antonio-Januaria.	3	150 —	100 —
Gandarella	3	135 —	770 —
Cururu (deux forges).	6	170 —	1.100 —
Eduardo.	4	100 —	700 —

J'évalue, dans ce tableau, la charge de charbon à 80 kilog., mais il faut ajouter qu'en général cette charge pèse quelques kilogrammes de plus. N'ayant pas pu la peser partout, j'ai préféré prendre une valeur un peu faible, pour être assuré de ne pas exagérer les consommations.

Méthode italienne. — Le second procédé employé dans la province pour la production du fer, connu sous le nom de système Italien, est beaucoup moins répandu que le procédé des cadinhos. Il présente déjà bien des analogies avec le système catalan, tel qu'il était pratiqué dans l'Ariège.

Le fourneau est un bas foyer, de forme analogue à celle du foyer catalan. Je n'ai jamais eu occasion de trouver un de ces fours éteints, ni par conséquent d'en pouvoir mesurer les dimensions; ils paraissent plus petits, surtout moins profonds, que les foyers catalans, sauf la face de chio qui est construite absolument comme dans ces derniers; les autres faces du four sont en pierre, et la différence la plus importante vient de la position de la tuyère, qui est ici moins inclinée et qui pénètre dans le four au niveau même de la face de chio et de celle de contrevent, qui sont de même hauteur.

Les marteaux, soulevés par la queue, sont mis en mouvement par de petites roues à cuillères, du modèle des roues de l'Ariège; ils donnent de 100 à 120 coups par minute, mais la tête ne pèse d'ordinaire que 120 kilog. Une seule forge possède un marteau de 420 kilog., mû par une roue à augets, mais il est employé au travail du fer et non à celui de la loupe. Le vent est, comme pour les cadinhos, fourni par des trompes.

Le travail se fait de la façon suivante : une opération terminée et le four nettoyé, on y fait une véritable charge analogue à celle de la forge catalane; elle se compose, quand le travail est bien conduit, de 45 kilog. environ de minerai en morceaux de la grosseur d'un œuf au plus, et on la place immédiatement en avant de l'arête de la paroi de contrevent, on achève de remplir entre la charge et le mur de fond avec du charbon, et on donne le vent. A mesure que le charbon se brûle, on en rajoute, et chaque addition de charbon est suivie d'une addition de minerai pulvérulent répandu sur le combustible nouvellement

chargé. En même temps, on bat la loupe produite dans l'opération précédente, en la réchauffant, autant de fois qu'il est nécessaire, dans l'angle du four, entre la paroi de warme et celle de chio. Le travail de la loupe terminé, on rajoute sur le feu, indépendamment de la greillade, environ 15 kilog. de minerai en grenailles, on augmente un peu le vent, puis on continue à charger la greillade, tant qu'il en reste. Une fois ou deux, l'ouvrier, avec son ringard, aide la charge de minerai en morceaux à descendre, mais il ne s'inquiète pas autrement d'aider à la formation de la loupe. Une fois ou deux au plus, on coule très peu de scories; j'ai vu des opérations où on n'en coule pas du tout, sauf à la fin.

On reconnaît là, en somme, aussi simplifié que possible, le travail des forges catalanes. Au bout de trois heures et demie à quatre heures, l'ouvrier laisse tomber le feu, rassemble un peu la loupe et la retire du four.

Les résultats sont assez variables. Bien des fois la charge est faite sans aucun soin et échappe plus ou moins à l'action des gaz dégagés du foyer, si bien que souvent elle n'est que partiellement réduite et qu'on en retire, en nettoyant le four, une bonne partie qui n'a éprouvé aucune modification; il m'est arrivé parfois de voir retirer, à la fin de l'opération, la charge entière de minerai en morceaux, qui avait ainsi été absolument inutile. Les travailleurs plus soigneux, au contraire, l'utilisent en son entier, et dans ce cas la loupe donne 40 à 45 kilog. de fer en barres, produit avec 100 kilog. environ de minerais en morceaux, en grenailles ou en poussière.

On ne produit, dans le courant de l'opération, que fort peu de scories, il n'en coule également que fort peu sous le marteau, mais, de même que dans l'autre procédé, les premiers coups de marteau détachent à la surface de la loupe le même conglomérat de scorie, fer, oxyde de fer et charbon, quoiqu'en proportions relativement moindres.

La cause est la même ici que dans le cas précédent, les scories, en effet, sont tout aussi pâteuses. Les fabricants qui emploient ce procédé mettent tout autant de soin que ceux qui travaillent avec des cadinhos à n'employer que du minerai trop complètement débarrassé de gangue.

Il y a cependant progrès, puisque le rendement, d'après les chiffres cités plus haut, arrive à être de 40 à 45 p. 100, tandis qu'avec les mêmes minerais, il n'est, dans les cadinhos, que de 22 à 23 p. 100. Si faible que soit le prix du minerai, il n'y en a pas moins de ce fait une certaine économie.

Le progrès réalisé par la substitution du procédé italien à celui des cadinhos, ne se borne pas, du reste, à cette amélioration du rendement.

Le travail entier, y compris le battage de la loupe, est fait par deux hommes qui, travaillant de jour seulement, font dans leur journée trois opérations, soit sensiblement 120 kilog. de fer, alors qu'une forge de trois cadinhos n'arrive pas, avec trois ouvriers, à une production aussi considérable.

Le fer produit est meilleur. Le fait est si bien constaté que les fabricants qui emploient ce système vendent facilement leur fer 50 à 60 francs plus cher par tonne que ceux de leurs concurrents qui fabriquent avec des cadinhos.

Le charbon produit en fosses est de qualité tout à fait insuffisante pour la forge italienne; il a fallu, pour employer ces fourneaux, fabriquer le charbon en meules, et l'introduction de ce système de fabrication du fer a eu pour conséquence une amélioration considérable dans la fabrication du charbon. Au reste, la consommation de combustible est ici notablement moindre. On peut compter que l'on brûle, pour faire une tonne de fer en barres, entre cinq et six tonnes de charbon. C'est déjà beaucoup moins que dans les cadinhos, e t cette économie est rendue plus considérable encore par ce fait, que la fabrication du

charbon en meules permet une utilisation meilleure et plus complète du bois, comme j'ai eu déjà occasion de l'indiquer.

En somme, on peut, je pense, admettre que les consommations, pour la production de 1.000 kilog. de fer en barres, sont de :

Charbon............ 5.500 kilog.
Minerai............ 2.200 —
Main-d'œuvre........ 18 à 19 journées.

Comme je l'ai fait pour les cadinhos, je vais donner les productions et consommations de quelques forges italiennes :

FORGES.	PRODUIT par jour.	CONSOMMATION de charbon.
Cangica	130 kilog.	750 kilog.
J. Araujo	135 —	750 —
J. Carueiro	120 —	700 —
Monlevade	190 —	1.000 —

Les forges italiennes sont beaucoup moins nombreuses que les forges de cadinhos; elles sont, du reste, toutes identiques comme construction, ayant toutes été construites par le même maître italien, qui a introduit le procédé dans la province, et ne diffèrent tout au plus que par le plus ou moins de soin apporté au travail.

Les minerais employés dans ces forges sont, comme greillade, les mêmes minerais que dans les cadinhos, et, pour la charge, du fer oligiste compacte cassé soit à la main, soit avec le marteau de la forge. Le fait que j'ai signalé plus haut, que cette charge de minerai en morceaux n'était souvent que très imparfaitement réduite, tient souvent, pour une bonne part, au manque de soin des ouvriers, mais je pense que la compacité et l'imperméabilité aux gaz du minerai employé y peut être pour quelque chose. Un jour, de passage dans une de ces forges, et frappé de voir amener d'assez loin le fer oligiste compact, alors qu'il existait à la porte même de l'établissement de

la canga excellente, je pus obtenir du propriétaire, malgré sa répugnance visible, qu'il fît une opération, en substituant pour sa charge cette canga au minerai qu'il employait d'ordinaire, sans rien modifier au reste du travail. Pendant toute l'opération, le four conserva une excellente allure ; à la fin, la charge de canga avait complètement disparu, la loupe avait son poids normal, le fer était de très bonne qualité, mais l'opération avait duré une bonne demi-heure de moins qu'elle ne durait à l'ordinaire. C'était exactement le résultat que j'avais prévu, et qui confirmait ainsi l'observation que j'ai faite ci-dessus. Je n'ai pas eu depuis l'occasion de me retrouver à cette forge, mais la routine est ici pour le moins aussi forte qu'ailleurs, et je ne doute pas que, dès le lendemain, on n'en soit revenu à l'emploi du fer oligiste compact. Il y aurait cependant là, il me semble, un progrès bien facile à réaliser.

Examen critique des méthodes de traitement. — Il y aurait, au reste, mieux encore à faire. L'analogie du système italien et du système catalan saute aux yeux, et il paraît vraisemblable que des ouvriers accoutumés à l'emploi du premier pourraient assez facilement être mis en état de pratiquer le second.

La transformation du matériel se réduirait à presque rien et l'avantage ainsi réalisé ne serait point à dédaigner. Je rappelle, en effet, ce que sont la production et la consommation d'un fourneau catalan, comparées à celles des procédés que je viens de décrire.

	PRODUIT en douze heures.	CONSOMMATIONS par 1.000 kilog. de fer.	
		Charbon.	Main-d'œuvre.
Cadinhos	100 kilog.	700 p. 100	27 journ
Forge italienne	120 —	500 —	18 —
Forge catalane	330 —	300 —	13 —

Encore faut-il observer que je prends ici, pour la forge catalane, les données numériques relatives aux forges de l'Ariège, où l'on traite des minerais dont le rendement est de 45 p. 100, alors qu'on obtiendrait ici, à coup sûr, un rendement supérieur, en employant comme greillade le fer oligiste pulvérulent, et pour la charge, la canga si abondante partout.

Ces chiffres prouvent surabondamment l'avantage que présenterait une telle transformation, mais il faut reconnaître qu'elle pourrait n'être pas très facile à réaliser.

J'ai dit, on se le rappelle peut-être, que, vers 1820, M. de Monlevade avait créé une forge catalane; plus loin j'ai cité Monlevade au nombre des forges italiennes, et en fait, aujourd'hui, c'est bien le procédé italien qui y est employé. Pendant quelques années, après la mort de son fondateur, la forge de Monlevade fut à peu près laissée à l'abandon; quand, plus tard, on put s'occuper de la réorganiser, on appela dans ce but le maître italien qui venait de construire dans la région les forges italiennes actuellement existantes, et qui fit naturellement ce qu'il savait faire. Les deux procédés ont, on l'a vu, bien des analogies; mais je crois, cependant, d'après les quelques explications que j'ai pu obtenir de travailleurs qui avaient été employés à la forge ancienne, et dont les souvenirs malheureusement manquaient un peu de précision, qu'il y avait là autrefois une forge catalane véritable. Il y a donc eu une sorte de progrès à rebours qui ne laisse pas d'être curieux, d'autant plus curieux que, théoriquement au moins, le procédé catalan paraît, comme on l'a vu, devoir donner de bien meilleurs résultats que les autres, et que, pratiquement, entre les mains de son premier propriétaire, cet établissement avait effectivement produit des résultats pécuniaires dont ceux que fournissent les forges italiennes actuelles n'approchent même pas de loin, ce qui vient à l'appui de la théorie. Indépendamment des résultats pécu-

niaires, le fer produit à Monlevade jouissait, comme qualité, d'une réputation universelle dans la province, réputation qui subsiste encore aujourd'hui, avec quelque raison, du reste, car s'il est comparable à celui des autres forges italiennes, comme valeur de métal, il est du moins beaucoup mieux travaillé dans un établissement qui dispose de ressources mécaniques qu'on ne rencontre dans aucun autre de la province.

Ainsi donc, non seulement une méthode qui donnait des résultats infiniment supérieurs à ceux que fournissaient les autres procédés en usage dans le pays n'a pas eu d'imitateurs, mais encore, peu d'années après la mort de celui qui en dirigeait l'application, dans l'établissement même dont elle avait fait la prospérité, les traditions de ce genre de travail étaient si complètement perdues qu'à la reprise du travail régulier elle était remplacée par une autre manifestement inférieure. Autre fait non moins curieux : visitant un jour une forge des environs de Santa-Barbara, je ne fus pas peu surpris d'y voir un fourneau italien abandonné, à demi démoli, quoique sa construction fût évidemment récente, et à côté trois cadinhos neufs prêts à être allumés. Nous trouverons dans l'étude de l'organisation du travail des forges l'explication de ces faits, en même temps que la preuve des difficultés que je signalais il y a un moment à l'introduction de procédés plus perfectionnés.

Partout, on peut dire, tant les exceptions sont rares, le travail est exclusivement confié à des esclaves. Je ne prétends pas refaire ici le procès de l'esclavage, il est jugé heureusement, si bien jugé qu'au Brésil même il est sur le point de disparaître, mais il est trop clair que si l'on peut, par l'emploi des châtiments corporels, obtenir d'un esclave une certaine somme, d'ordinaire faible, de travail journalier, il ne faut pas aller au delà. On a fait de ces malheureux de véritables bêtes de somme, on ne peut exiger d'eux qu'un travail de bête de somme; on a abâtardi chez eux

l'intelligence, on a supprimé tous les stimulants de l'activité humaine, le besoin de gagner sa vie, la possibilité et par suite le désir d'améliorer sa situation; leur confier alors un travail qui demande de l'attention, de l'adresse, de l'intelligence, c'est s'exposer presque à coup sûr à un insuccès, et ce n'est que trop juste.

Pour en revenir au sujet qui m'occupe, le travail des cadinhos, qui n'exige en somme que la présence matérielle et le soin de rejeter indéfiniment du charbon et du minerai dans le petit fourneau à mesure qu'il se vide, peut sans grand inconvénient être confié à un esclave : peut-être est-ce là le motif pour lequel, aujourd'hui encore, ce procédé est si fort en honneur, pour ma part je le crois. Le travail des forges italiennes est déjà plus délicat, aussi sont-elles moins nombreuses, les esclaves qui le savent faire sont rares, et se payent beaucoup plus cher que les autres. Quant au travail catalan, il devient à peu près inabordable, et si le créateur de Monlevade a pu, sa vie durant, le maintenir chez lui, formant et conduisant personnellement ses ouvriers, ce n'a été que grâce à une surveillance de tous les instants, à une activité et une énergie aujourd'hui légendaires, qui lui avaient conquis l'admiration des habitants du pays, d'autant plus sûrement que ce ne sont pas là leurs qualités ordinaires. Ingénieur des mines, il connaissait à fond le procédé qu'il employait, et, continuellement présent au travail, il parvenait à vaincre l'apathie de ses ouvriers et à obtenir d'eux le soin nécessaire, en s'aidant, j'imagine, des procédés en usage dans les pays à esclaves; mais ces mêmes ouvriers travaillaient si machinalement que, lui mort, la forge réorganisée comme je l'ai dit, ceux qui sont encore là actuellement saisissent à peine la différence entre ce qui se fait maintenant et ce qui se faisait autrefois.

Je ne voudrais pas ici médire des maîtres de forges de la province de Minas, j'ai eu trop à me louer en toute

occasion, durant les nombreuses courses que j'ai faites dans le pays, des relations que j'ai pu avoir avec eux, de leur accueil cordial, de leur hospitalité, qu'il est impossible d'offrir et de pratiquer de meilleure grâce, mais il me sera bien permis de dire qu'ils sont propriétaires de forges, et non fabricants de fer. Nulle part chez eux on ne retrouve cette influence personnelle et cette activité qui, seules, avaient permis à M. de Monlevade d'obtenir un travail régulier. Ils possèdent des forges, mais ne les dirigent pas; ils fournissent à un esclave forgeron un fourneau et les outils nécessaires, et l'envoient faire chaque jour une certaine quantité de métal sans, en général, se mêler autrement au travail que pour vérifier la quantité produite. L'esclave fait comme il sait faire et, si peu habile qu'il soit, il en sait presque toujours sur ce point beaucoup plus que son maître, qui paraît à peine à la forge. On comprend qu'ainsi tout ce qu'il peut y avoir de délicat ou de difficile dans le travail est vite laissé de côté, que les bons procédés dégénèrent rapidement aux dépens de la production et de la qualité. Toute cette population livrée à la production du fer n'en est pas moins intéressante, puisque tout au moins elle a créé et maintient une industrie appelée à coup sûr à faire un jour la principale richesse de la province ; mais, avec cette organisation mauvaise du travail, elle prouverait presque, pour le moment, qu'il ne suffit pas de forger pour devenir forgeron.

Une preuve suffira : j'ai cité une forge près de Santa-Barbara qui, abandonnant le système italien, en revient aux cadinhos : le seul motif de cette transformation est que le propriétaire avait perdu l'esclave qui travaillait à sa forge, et n'avait pu en rencontrer un autre connaissant le fourneau italien ; le remplaçant qu'il s'était procuré ne connaissait que la fabrication en cadinhos, d'où le changement.

Il y a ici, comme il y a eu sans doute dans tous les pays où a existé l'esclavage, des propriétaires dont les esclaves

sont charpentiers, ou maçons, ou tailleurs, ces esclaves travaillent de leur métier là où on leur trouve de l'ouvrage et le maître reçoit leur salaire : on voit que, chez certains propriétaires de forges au moins, il en est de même, et ceux-là, je pense, ne méritent pas plus le nom de maîtres de forges que les premiers celui de maître charpentier ou maître tailleur.

Heureusement tous ne sont pas ainsi, je m'empresse de le constater, quelques-uns au moins s'occupent effectivement de l'industrie qu'ils exploitent et font de louables efforts pour l'améliorer ; c'est à ceux-ci qu'est dû le développement commençant du procédé italien, et la supériorité relative de quelques-unes de ces forges italiennes sur les établissements similaires suffirait à prouver l'intervention active du maître ; plusieurs voudraient faire mieux encore, cherchent, se renseignent, et seraient tout disposés à changer de méthode s'ils trouvaient quelqu'un qui pût les diriger dans une voie meilleure. Il s'en trouve enfin, malheureusement trop rares, qui travaillent de leurs mains, sans esclaves, et qui, lors même que, faute de ressources ou de connaissances, ils fabriquent dans des cadinhos, produisent un fer dont la qualité relative suffirait à prouver la supériorité du travail libre sur le travail esclave.

On conçoit de reste que l'organisation d'une forge telle que la comprenait la majorité des fabricants rendait bien difficile toute espèce de progrès, mais on voit qu'il n'était cependant pas impossible. De la difficulté qu'il y a, dans les pays à esclavage, à rencontrer des travailleurs libres qui veuillent s'assujettir à une tâche régulière, il ne faut pas conclure non plus à l'impossibilité ; cette difficulté au reste ira s'atténuant de plus en plus à mesure que l'esclavage disparaîtra. Il ne faudrait donc pas s'exagérer les entraves que l'on rencontrerait à vouloir améliorer encore la fabrication actuelle : c'est là, dans la province, une question à l'ordre du jour, en faveur de laquelle tous les esprits sont

bien disposés, ce qui ne pourrait encore que faciliter la tâche; il me reste donc à voir s'il y aurait réellement intérêt à le faire.

Conditions économiques actuelles. — Le nombre des fabriques existantes dans le centre de la province est d'au moins 75 : plus des 4/5 sont encore des fabriques de cadinhos : dans le nombre, quelques-unes ne travaillent plus que de loin en loin, n'ayant pas pris suffisamment soin de la conservation de leurs bois, mais elles sont rares ; la plupart sont au contraire en activité normale, et admettant une production journalière de 80 kilog. et 260 jours de travail par an, on aura une production annuelle totale de 1.500 à 1.600 tonnes qui est certainement un minimum.

Ces forges sont fort inégalement réparties : c'est ainsi que le seul municipe de Santa-Barbara, qui comprend à peu près tous les établissements du pied de la Serra de Caraça et quelques-uns des environs de San-Miguel, en compte 31. Elles deviennent au contraire fort rares dans le Nord aux environs du Serro et de Diamantina, où elles livrent à des prix bien plus élevés des produits de qualité très inférieure.

Les prix en effet sont variables. Dans les environs d'Ouro Preto et Santa-Barbara, le prix du fer en barres, pris à la porte de la forge, est de 7 francs à 7f,50 par 15 kilog. pour le fer fabriqué en cadinhos, et de 7f,50 à 8 francs pour le fer produit par le système italien. On peut admettre en moyenne 7f,50 au change de 400 reis par franc, ce qui, pour la tonne de barres brutes, représente un prix moyen de 470 francs par tonne, atteignant facilement 500 francs et plus pour le fer de forge italienne.

Travaillé, ce fer augmente rapidement de prix, d'autant plus que tout le travail est fait à la main. On le transforme surtout en fers à cheval et à mulet, clous et instruments d'agriculture. Je ne puis mieux faire, pour donner une idée

des prix qu'atteint le fer travaillé, que de copier quelques chiffres dans le catalogue de la forge de Monlevade, la seule qui soit organisée pour la production d'objets variés.

Fer en barres de section constante (selon la grosseur).	0^f,58 à 1^f,00 le kilog.
Fers à mulet	5 ,50 la douzaine.
Fers à cheval	8 ,50 —
Clous supérieurs (clous pour ferrer les animaux)	20 ,00 le mille.
— ordinaires	17 ,50 —
Chaudrons en fer battu	3 ,00 le kilog.
Tourillons (pour roues hydrauliques)	2 ,50 —
Enclumes de forgeron	2 ,50 —
Charrues	125^f,00 à 150^f,00 la pièce.

Je dois ajouter qu'un millier de clous pèse en moyenne 12^k,5, une douzaine de fers de mulets 5^k,5 à 6 kilog. et une douzaine de fers de cheval 7^k,50.

Ces prix sont ceux de la région où la population est relativement dense, la consommation et surtout la production assez considérables. A mesure que l'on s'éloigne vers le nord ils augmentent, quoiqu'il existe jusqu'aux environs de Diamantina quelques forges dont les frais ne sont pas plus élevés que ceux des forges du Sud, et dont les produits ainsi que les procédés de fabrication sont inférieurs. Prenant comme exemple le fer en barres, il vaut déjà à Conceiçao (170 kilom. d'Ouro Preto) 660 francs la tonne; au Serro (275 kilom.) 830 francs, et à Diamantina (340 kilom.) 1.160 francs.

A mesure que l'on s'éloigne, à partir des fabriques, vers les régions où il n'en existe plus, les prix croissent rapidement, les prix de transport étant de 2 francs par tonne kilométrique dans les environs d'Ouro Preto et plus élevés dans le Nord où les voies de communication sont en moins bon état : on en arrive alors à des prix tellement excessifs que le fer devient presque un objet de luxe et que c'est un signe de grande aisance de faire ferrer ses chevaux.

Mais revenons à la région où la fabrication est la plus active et les prix minimum, admettant pour cette région

une valeur moyenne de 500 francs par tonne de fer. Là, le salaire d'un ouvrier, tout compris, sera en général de 5 francs (en fait, ils reçoivent moins en argent, mais ils sont nourris), et celui d'un aide d'environ 2f,50. J'admettrai toutefois, pour être assuré d'aller au delà de la réalité, que ce chiffre de 5 francs représente le salaire moyen sur l'ensemble des travailleurs, ouvriers ou aides. Le minerai n'a qu'une valeur insignifiante; il est ramassé sur place ou à une distance extrêmement faible de la forge, et peut coûter 2 à 3 francs la tonne, mettons 3 francs. Admettant d'autre part pour prix du charbon celui que j'ai indiqué en commençant cette étude, soit 25 francs par tonne, nous pourrons arriver à une évaluation des frais qu'entraîne la production du fer par l'un ou l'autre des procédés étudiés, évaluation exagérée et qui, par suite, comparée au prix de vente, nous fournira une évaluation minima des bénéfices possibles.

Ces usines n'ont pas de fonds de roulement; elles écoulent toutes leurs produits au fur et à mesure de la fabrication et tous les fabricants déclarent que, s'ils pouvaient produire davantage, ils n'en trouveraient pas moins à vendre avec la même facilité toute leur production.

Quant au capital de premier établissement, il n'est jamais fort considérable : je connais telle forge italienne que son propriétaire vendrait pour 12.500 francs et peut-être pourrait-on évaluer ce capital aux environs de 15.000 francs pour les forges italiennes, qui peuvent produire annuellement au moins 30 tonnes, et aux environs de 10.000 francs pour les cadinhos. J'estime que ces chiffres ne peuvent s'écarter beaucoup de la vérité (j'y comprends la valeur des terrains), mais ils sont assez variables, et il est d'autre part difficile d'avoir sur ce point des informations absolument exactes. Pour ces motifs je me contenterai, une fois faites ces observations, d'évaluer simplement les frais de fabrication.

Nous trouverons ainsi pour la tonne de fer :

Dans les cadinhos :

7 tonnes de charbon à 25 francs....	175 francs	
27 journées à 5 francs..........	135 —	
4 tonnes de minerai à 3 francs.....	12 —	
Frais de fabrication (exagéré).....	322 francs	322 franc
Prix de vente minimum................		466 —
Différence.............		144 francs

Et par le procédé italien :

5,5 tonnes de charbon à 25 francs...	137 francs	
18 journées à 5 francs..........	90 —	
Minerai..................	6 —	
Prix de fabrication (exagéré)......	233 francs	233 francs
Prix de vente....................		520 —
Différence.............		287 francs

J'ai exprès exagéré, je le répète, tous les prix, charbon, main-d'œuvre et minerai; quant aux prix de vente, j'ai admis, pour les cadinhos, le prix minimum de 7 francs pour 15 kilog., alors qu'il est plus généralement aux environs de 7f,50 et parfois dépasse ce prix (je pourrais citer telle forge de cadinhos qui vend 8 francs les 15 kilog.); les forges italiennes vendent leur fer couramment de 0f,50 à 1 franc plus cher par 15 kilog.

Les bénéfices indiqués sont donc, en fait, inférieurs aux bénéfices réels, et laissent, on le voit, une jolie marge pour payer l'intérêt du capital de premier établissement. On sera même peut-être tenté, malgré mon affirmation, de les croire exagérés et de m'objecter qu'à les admettre, il en faudrait conclure que tous les fabricants doivent rapidement faire fortune. La conclusion serait excessive; il ne faut pas oublier en effet combien est faible la production de chaque établissement (environ 20 tonnes par an pour les cadinhos et 30 pour les forges italiennes); mais en fait, dans ces pays où la vie est facile et où chaque fabricant obtient, sans grand surcroît de travail, sur quelque coin de

ses terres les produits agricoles qui lui sont nécessaires, il n'est pas rare de voir une forge faire vivre de 50 à 60 personnes, parfois plus. Encore dois-je ajouter qu'il n'est pas besoin d'avoir voyagé longtemps dans le pays pour être frappé de l'aisance relative de la presque totalité des maîtres de forges. Enfin ce n'est un mystère pour personne que l'établissement de Monlevade, qui, grâce à son feu catalan, avait une production beaucoup plus élevée, a fourni en moins de cinquante ans à son propriétaire une fortune considérable.

La production si restreinte des forges actuelles ne leur est imposée ni par la concurrence de nombreux voisins, ni par la rareté de la demande ; il n'est, au contraire, pas un fabricant qui ne regrette son impuissance à satisfaire aux demandes qui lui sont faites ; elle est due bien plutôt à la mauvaise organisation du travail, à la rareté des esclaves sachant produire le fer, à l'apathie des maîtres, apathie naturelle aux habitants des pays chauds. Le fer produit est consommé en partie par quelques mines d'or, dont les plus importantes l'achètent à l'état brut et le font travailler par des ouvriers européens ; pour une plus grande part à l'état de clous et fers de mulets et en instruments d'agriculture assez grossiers, et cependant quantité de travaux de serrurerie ou de chaudronnerie pourraient être produits sur place au lieu d'être importés d'Europe : on imagine aisément quels prix ils peuvent atteindre quand ils ont payé et les frais de transport et les droits d'entrée si élevés des douanes brésiliennes. Comme exemple, la pointe de Paris vaut, à Ouro-Preto, environ 5.000 francs la tonne.

La production dans son ensemble pourrait, je crois, d'ores et déjà, être de la sorte doublée ou triplée sans que l'on risque de rencontrer des difficultés pour la vente. Il y a donc quelque chose à faire, et chacun ici le sent si bien que chaque année voit éclore des projets gran-

dioses chez des gens faciles à l'enthousiasme et peu au courant des choses dont ils veulent s'occuper; projets excessifs qui, cependant, rencontrent l'appui des pouvoirs publics, ce qui dénote le bon vouloir de ceux-ci.

Il est trop clair qu'il ne peut vraisemblablement s'agir de créer ici un Creusot de toutes pièces; mais, à prendre les choses telles qu'elles sont, nous voyons une contrée étendue où en général on consomme du fer à peu près partout en petite quantité, où l'on rencontre des minerais également partout, où les transports sont difficiles et chers. Pour répondre à ces besoins, que faut-il? Non pas des hauts-fourneaux, qui auraient une production exagérée; non pas des machines puissantes et chères, qui ne travailleraient, étant donnée la production nécessaire, que quelques heures de temps à autre, et ne pourraient payer leurs frais d'installation; mais j'imagine des établissements qui, travaillant d'après les meilleurs procédés connus, puissent avoir une production appropriée aux besoins de la consommation. Quelques forges catalanes convenablement réparties me paraissent devoir répondre parfaitement à ce besoin. Le fer qu'elles produiraient serait préféré à celui qui est actuellement fabriqué, par la même raison qui fait qu'aujourd'hui le fer des forges italiennes est préféré à celui des cadinhos. Voulût-on le vendre au prix moyen actuel de 500 francs la tonne, il est facile, en se reportant aux consommations indiquées plus haut pour la forge catalane et en leur appliquant les prix actuels, de voir que la production d'une tonne de fer coûterait, en frais de fabrication, 150 francs au plus, laissant un bénéfice de 350 francs. Un feu catalan, travaillant de jour et de nuit, peut fournir 600 kilogrammes au moins par jour, soit, en trois cents jours de travail, 180 tonnes par an. Il serait facile, en donnant le fer meilleur marché, de faire croître plus vite la consommation et d'obtenir sans doute des bénéfices plus considérables. Selon les ressources de la région, selon la densité

de la population et ses besoins, on pourrait établir ici un seul feu, là deux, ailleurs trois, en augmenter le nombre à mesure que croîtrait la demande et attendre ainsi, non seulement sans secousse, mais avec profit, le moment où la consommation serait assez active pour permettre l'emploi d'appareils plus coûteux (hauts-fourneaux, laminoirs, etc.), qui, pour ne pas surcharger outre mesure les prix de fabrication, ne doivent être employés qu'à de grosses productions. Peut-être déjà, en un point particulier, dans la région de Congonhas de Campo à Sabara, où l'on rencontre déjà des minerais, et où arrivera, dans un an ou deux, le chemin de fer de Pedro Segundo, le moment est-il arrivé où l'emploi de ces engins plus puissants serait recommandable.

Le lecteur peut s'en rendre compte par les chiffres cités plus haut : il y a là une source de revenus considérables, peut-être aussi brillants, à coup sûr plus assurés que ceux que peut fournir l'exploitation de l'or et du diamant. L'exemple de Monlevade mérite d'être imité ; une nouvelle tentative ne serait certainement pas moins fructueuse pour celui qui la ferait et serait sans doute plus profitable au pays, mieux en état aujourd'hui d'en profiter. La chose valait peut-être la peine d'être signalée.

(La suite à la prochaine livraison.)

L'INDUSTRIE MINÉRALE

DANS LA

PROVINCE DE MINAS-GERAËS

Par M. A. de BOVET, professeur à l'École des mines d'Ouro-Preto (Brésil).

(Suite et fin.)

OR.

Gisement de l'or. — C'est la découverte de l'or, bien antérieure à celle du diamant, qui a appelé dans la province de Minas les premiers immigrants vers le commencement du XVIIe siècle, et, depuis lors jusqu'à l'époque actuelle, on peut dire que l'extraction de l'or a été continuée sans interruption quoique avec une activité variable. Comparée à ce qu'elle était vers la fin du siècle dernier, cette industrie est aujourd'hui en décadence, sans qu'on doive attribuer cet état de choses à l'épuisement des gisements.

Ces gisements, aujourd'hui encore fort abondants, les anciennes exploitations ayant été bien loin de les épuiser, peuvent, je crois, se rapporter à trois types principaux : 1° filons de pyrite ; 2° filons de quartz ; 3° itabirites.

Dans les filons de quartz, la masse du filon est constituée par du quartz, et l'on trouve disséminés irrégulièrement en nids quelques cristaux de pyrites (pyrites arseni-

cales, mais surtout pyrites de fer) et des paillettes d'or, habituellement volumineuses. La richesse est essentiellement irrégulière et inconstante ; c'est là, du reste, un fait qui n'est pas particulier aux filons de quartz aurifère du Brésil. Quant à la pyrite qu'on y rencontre, elle est également distribuée de façon assez irrégulière et presque toujours en cristaux déjà assez gros.

Dans les filons que je désigne comme filons de pyrite, la masse de la roche est formée de quartz et pyrite, la pyrite dominant de beaucoup et étant surtout de la pyrite arsenicale. L'ensemble forme une masse à grains fins bien différente d'aspect de la roche que l'on peut extraire des filons de quartz. La pyrite et le quartz sont intimement mélangés, formant une sorte de conglomérat à grains fins extrêmement chargé de pyrite : pyrite arsenicale en grande abondance, pyrite de fer en moindre quantité. L'or contenu dans cette roche y existe non plus à l'état de paillettes ou de pépites, mais à l'état de grains extrêmement fins, tellement qu'il est difficile à un très bon laveur à la battée, prenant la roche réduite en poussière très fine, d'y montrer de l'or ; il faut pour cela des essais par voie sèche. Au lieu d'être irrégulièrement disséminé dans la masse, comme cela arrive dans les filons de quartz, l'or des filons de pyrite, est, au contraire, réparti dans toute la roche du filon avec une régularité remarquable, et la richesse, toujours faible, est du moins sensiblement la même aux divers points du gisement. Indépendamment de l'or, on trouve, dans cette roche pyriteuse, des minéraux accidentels, variables d'un gisement à l'autre : par exemple, à Morro-Velho, des carbonates de chaux, de la sidérose, de la pyrite de cuivre, de la pyrite magnétique ; à Pary, de l'amphibole, du grenat et du mica ; à Passagem, de la tourmaline.

Les gisements de cette roche se présentent, soit sous forme de filons véritables recoupant nettement les couches

comme à Morro-Velho, soit sous forme de filons-couches, comme à Pary et à Passagem.

On le voit, les caractères tirés, soit de la nature de la roche, soit de la façon dont l'or y est contenu, sont assez nettement différenciés pour qu'il soit permis de considérer ces deux gisements comme absolument différents. A ces motifs, j'en joindrai, du reste, un autre. Dans l'ensemble, l'ordre de superposition des terrains de cette région me paraît être le suivant : au bas, sur une épaisseur énorme, les granites et les gneiss que le voyageur, partant de Rio et se dirigeant vers le nord, accompagne depuis Rio jusque auprès de la Serra d'Ouro-Branco, sur une étendue de 450 kilomètres environ. Ce sont les gneiss décomposés qui, sur les 100 derniers kilomètres de ce parcours, de Barbacena à Ouro-Branco, forment les terres rouges argileuses plus ou moins colorées de cette région, comme il est facile de le constater dans les tranchées du chemin de fer. Au-dessus viennent des roches schisteuses, à apparence de talcschistes, mais qui ne sont cependant que des argiles schisteuses, puis des quartzites, soit aréneux, soit compacts, mais alors se séparant facilement en grandes dalles minces et constituant la *pedra de lages*. Enfin, au-dessus des quartzites viennent les itabirites, immenses dépôts de fer oligiste plus ou moins mélangés de quartz, formant cette masse énorme de minerais de fer dont j'ai déjà eu occasion de m'occuper. Compactes et dures, ces itabirites forment ce qu'on appelle plus spécialement dans le pays la *pedra de ferro*; aréneuses et friables, elles reçoivent le nom de *jacutinga*.

Je n'ai cherché ici qu'à indiquer ce que je crois être, dans son ensemble, l'ordre de superposition des divers terrains; les trois derniers (schistes, quartzites, itabirites), forment le haut plateau central de la province de Minas.

Revenons maintenant aux gisements de l'or : les filons de quartz se rencontrant partout, soit au sud de Minas et dans la

province de Rio dans le gneiss, soit dans le centre de Minas, traversant tous les terrains supérieurs. A ma connaissance, au contraire, il n'existerait pas de filons de pyrite (au sens que j'ai donné à ce mot) traversant les quartzites ni les itabirites. Parmi ceux qui sont actuellement exploités aux environs d'Ouro-Preto, le filon de Morro-Velho recoupe les couches de schistes en un point où ces terrains ne sont recouverts par aucun autre; le filon couche de Pary repose sur les gneiss, en un point où ces terrains reparaissent; celui de Passagem se trouve entre les schistes et les quartzites. J'estime qu'un jour ou l'autre les exploitations de Pary et Passagem rencontreront, si elles sont poursuivies, de véritables filons de pyrites, comme est celui de Morro-Velho, et j'admettrais assez volontiers que ces filons de pyrite ont dû se produire après le dépôt des schistes et avant celui des quartzites, et qu'au contraire les filons de quartz sont postérieurs au dépôt des itabirites.

Là où ces filons ont traversé des roches perméables, il a pu y avoir imprégnation dans ces roches des émanations du filon; ce n'est guère le cas pour les filons de pyrite qui traversent des roches schisteuses dures et compactes; c'est le cas, au contraire, pour les filons de quartz quand ils rencontrent les dépôts de jacutinga, matière extrêmement perméable, et à un degré moindre quand ils traversent, au-dessous de la jacutinga, les dépôts de quartzites aréneux où il a pu y avoir imprégnation dans la masse, et ceux des quartzites durs, mais clivables, où il y a pu y avoir imprégnation suivant les lits de fracture facile. Les choses paraissent, en effet, s'être passées de la sorte : les dépôts de jacutinga sont imprégnés d'or au moins aux environs des filons de quartz et cela jusqu'à des distances assez considérables des filons. Les environs d'Ouro-Preto présentent sous ce rapport des faits probants : une couche considérable de jacutinga y a été exploitée à ciel ouvert partout où elle était traversée par des filons de

quartz; les exploitations s'étendaient à 30, 40 ou 50 mètres à droite et à gauche du filon, où elles ont eu pour résultat la disparition complète de la couche de jacutinga; au contraire, les parties qui étaient entre deux filons loin de l'un et de l'autre ont été laissées intactes, de telle sorte qu'aujourd'hui tout le long du chemin d'Ouro-Preto à Marianna (12 kilomètres), sur la rive gauche du Rio do Carmo, le terrain présente une série de tranchées toute parallèles entre elles, toutes montrant au fond quelque filon de quartz, séparées par des masses intactes de jacutinga.

L'or qui, dans ces gisements, se trouve mêlé à du quartz et à du fer oligiste est, comme dans les filons de quartz, en grosses paillettes : il est du reste disséminé d'une façon absolument irrégulière : certains points de ces couches d'itabirites ont des richesses réellement fabuleuses, alors que des étendues considérables sont absolument stériles.

Ce gisement de l'or est, on le voit, en relation intime avec les filons de quartz; cependant son importance, tant à cause de son développement énorme qu'à cause des nombreuses exploitations auxquelles il a donné lieu, m'a conduit à le considérer comme un troisième type des gisements aurifères.

Dans les quartzites, l'or que l'on peut rencontrer soit dans la masse, soit entre les faces de clivage, se présente encore en paillettes, et avec tous les caractères de l'or des filons de quartz, mais là l'imprégnation ne s'est plus étendue à d'aussi grandes distances que dans la jacutinga, elle n'existe guère à proprement parler que dans les salbandes du filon, et dès lors le lien entre ce gisement et le filon lui-même devient tellement intime qu'il y aurait exagération à vouloir y voir un mode de gisement particulier. Il est facile de rencontrer, du fait que je viens de citer, des exemples clairs dans les carrières même d'Ouro-Preto : dans quelques exploitations, après avoir enlevé à droite et à gauche du filon la masse entière de la jacutinga, les exploitants ont continué

à descendre dans le filon même, mais dès lors la largeur des travaux s'est réduite à la largeur même du filon, on n'a entamé que d'une façon insignifiante les couches de quartzites.

En somme, il ne semble guère contestable que l'or que l'on rencontre dans les itabirites et les quartzites provient de filons de quartz qui traversent ces couches; il s'y retrouve avec les mêmes caractères, en grosses paillettes, accompagné parfois, même dans les itabirites, d'un peu de pyrite, surtout pyrite de fer, comme dans le filon lui-même.

Dans les gisements comme ceux de Pary ou Passagem, qui sont, il est vrai, nettement intercalés dans les couches, les caractères sont tout différents, la roche et l'or qu'elle contient se présentent avec le même facies que dans le filon de Morro-Velho par exemple, et ce m'est un motif suffisant pour admettre que ces gisements ne peuvent être dus à une imprégnation d'or et de pyrite dans quelque couche de quartzite, et ne peuvent pas être en relation avec des filons de quartz, mais bien avec des filons de pyrite dont ils ne doivent être que le prolongement.

A côté de ces trois modes principaux de gisement de l'or, on en peut rencontrer quelques autres, mais purement accidentels. C'est le cas, par exemple, de quelques poches, toujours très limitées, d'une argile rouge, que l'on rencontre surtout au contact des itabirites et des quartzites : elle porte dans le pays le nom de *bugres* et est en général d'une richesse étonnante.

De même il existe dans le fond de quelques vallées des dépôts d'alluvions, cailloux roulés et or, auxquels les indigènes donnent le nom de *cascalho*, nom qui sert à désigner les dépôts analogues où l'on trouve le diamant. La rareté relative de ces dépôts est assez frappante dans une région où l'or est si abondemment répandu dans tous les terrains.

Historique de l'exploitation. — Ces gisements de cascalho, enrichis par une véritable préparation mécanique naturelle, plus faciles à exploiter que les autres, sont naturellement ceux qui ont tout d'abord appelé l'attention des premiers chercheurs d'or. Ces premières exploitations ont laissé comme trace au fond des vallées des tas de cailloux roulés, résidus du lavage du cascalho, et, je le répète, on ne peut pas n'être point frappé de la rareté des points où l'on rencontre aujourd'hui ces résidus. Les premiers se voient au pied de la Serra d'Ouro-Branco, à 40 kilomètres au Sud d'Ouro-Preto, mais aujourd'hui, en ne tenant pas compte de quelques rares chercheurs qui tirent isolément le sable des rivières, il faut aller jusqu'aux environs de Diamantina pour trouver en activité des exploitations de cette nature.

L'exploitation du cascalho était facile, demandant à peine un lavage à la battée, mais ces dépôts peu nombreux furent vite épuisés, et l'on dut aller chercher l'or dans les gisements aux dépens desquels le cascalho s'était formé. Des trois gisements cités plus haut, il n'y en avait guère qu'un qui fût abordable avec les procédés que pratiquaient alors les exploitants. La main-d'œuvre était à un bon marché extraordinaire, dont j'essaierai dans un moment de donner une idée, et de nombreux esclaves permettaient d'employer à chaque exploitation un grand nombre de bras. Mais les ressources mécaniques faisaient absolument défaut, et l'on ne pouvait ni descendre en profondeur, ni épuiser l'eau. Fallait-il broyer quelque pierre dure, on avait recours sans aucun doute au procédé que j'ai pu encore voir pratiquer par quelques travailleurs isolés. Ceux-ci, accroupis auprès d'un petit bassin plein d'eau, ont entre les genoux, posé à terre, un gros bloc de diorite : avec les deux mains ils promènent dessus un autre bloc moins volumineux de la même roche : la pierre à broyer est placée entre les deux et mouillée de temps à autre. Il est fa-

cile de se rendre compte de ce qu'un homme peut produire ainsi dans sa journée, et de comprendre que l'application systématique d'un pareil procédé à un gisement de roche dure et même demi-dure devait être impraticable. On ne pouvait en somme exploiter que les gisements où la roche était assez friable pour se réduire presque d'elle-même en poussière, et où le travail pouvait être poursuivi à ciel ouvert, c'est-à-dire les couches supérieures d'itabirite dans le voisinage des filons de quartz. C'est en effet ce que l'on fit alors, et c'est au résultat de ces travaux que sont dues les si nombreuses tranchées que j'ai signalées par exemple entre Ouro-Preto et Marianna, traversant toute la couche d'itabirite jusqu'aux quartzites sur des épaisseurs de 10 à 20 mètres, des largeurs de 50 à 100 mètres et des longueurs considérables. Ces exploitations devaient être actives, surtout pendant la saison des pluies; on accumulait alors l'eau de pluie dans les réservoirs et on la faisait sans aucun doute courir dans les travaux, pour aider ainsi à l'enlèvement des terres; l'or se déposait dans les canaux qui donnaient issue à l'eau; ceci n'est qu'une hypothèse, mais d'autant plus vraisemblable que des procédés analogues sont aujourd'hui encore en usage sur certains points.

Malgré les facilités que pouvait donner cette manière d'agir, on est vraiment stupéfait en songeant à la quantité de main-d'œuvre qu'il a fallu pour enlever et laver l'énorme volume de terres qui a ainsi disparu, et que permettent d'apprécier les parties stériles de la couche aujourd'hui encore en place. C'était alors la période active de l'extraction de l'or; des villes furent fondées pour les besoins de la nombreuse population employée à ces travaux, non pas à cause de l'heureuse situation des points où elles s'établirent, mais uniquement à cause des besoins de la recherche de l'or. Comment s'expliquer autrement, par exemple, la création d'une ville comme Ouro-Preto, très pittoresque à coup sûr dans son cirque de montagnes dominé par l'Itacolumy,

mais à peu près inaccessible aux grandes voies de communication, sans industrie, sans agriculture possible, au milieu d'une région infertile? Créée par l'exploitation de l'or alors qu'elle était en pleine activité, elle est morte avec elle : possédant vers la fin du siècle dernier une population d'environ 30.000 âmes, et s'étendant presque sans solution de continuité jusqu'à la ville voisine de Marianna, à une distance de 12 kilom., comme en témoignent les nombreuses ruines de maisons que l'on rencontre encore maintenant le long de la route, elle ne doit plus les 8.000 âmes auxquelles elle est aujourd'hui réduite qu'à sa situation de capitale de la province. Il ne lui reste que les souvenirs de sa splendeur passée, alors que les chevaux qui accompagnaient la procession de la Fête-Dieu étaient ferrés avec des fers en or (aujourd'hui on se contente d'argenter leurs sabots) et qu'on offrait dans la province, aux gouverneurs en voyage, un plat national, la cangica (grains de maïs cuits dans du lait), où les grains de maïs étaient remplacés par des pépites d'or. D'autres villes créées dans des conditions analogues sont maintenant dans la même situation.

La décadence fut rapide; elle s'explique du reste fort naturellement. Les gisements superficiels d'itabirite n'étaient pas indéfinis; l'eussent-il été, on conçoit que l'exploitation de ces gisements, où l'on rencontre parfois des points prodigieusement riches, mais où l'on trouve aussi bien des parties stériles, de sorte que la richesse moyenne est en somme faible, ne pouvait être continuée par ce procédé qu'à condition que la main-d'œuvre fût extrêmement bon marché : or, les prix de main-d'œuvre allèrent tout naturellement en s'élevant peu à peu jusqu'au jour où ils devinrent assez élevés pour que le travail d'extraction de l'or, dirigé comme je l'ai dit, ne fût plus rémunérateur. On se rendra compte de cette élévation par les chiffres suivants : en 1814, dans le municipe d'Ouro-Preto, la production moyenne par travailleur et par an était de 96^{g},5 d'or, et elle devait être

largement rémunératrice puisqu'il y avait alors une grande quantité d'exploitations en activité; aujourd'hui cette production annuelle moyenne, dans le même municipe, est de 315 grammes, et elle est à peine suffisante.

Dans les gisements de quartz ou de pyrite la difficulté était plus grande encore, d'une part à cause de la nécessité de broyer le minerai, d'autre part à cause de l'approfondissement rapide des travaux, alors que les ressources que possédaient les exploitants ne leur permettaient que le travail à ciel ouvert. Aussi, le nombre des travailleurs occupés à l'extraction de l'or, qui était de près de 80.000 au commencement du siècle, n'était plus que de 1.000 environ en 1823.

En fait, les conditions de travail se trouvaient complètement modifiées : il fallait s'outiller pour descendre en profondeur, épuiser les eaux, arriver à produire le minerai à bon marché par l'emploi de mécanismes appropriés et non plus à force de bras. Cette organisation nouvelle, nécessaire, était peu d'accord avec les habitudes des gens du pays qui immobilisent assez volontiers un gros capital sous forme d'esclaves, mais ont aujourd'hui encore une certaine répugnance à l'employer sous une autre forme pour n'être rémunérés que petit à petit.

La conséquence fut que les exploitations importantes passèrent des mains des habitants à des compagnies étrangères, en général anglaises, qui introduisirent des procédés nouveaux et qui exploitèrent du reste avec des succès divers. Actuellement encore, les rares mines importantes en activité sont exploitées par des compagnies anglaises, ce sont celles de Morro-Velho, Pary et Morro-de-Santa-Anna, et si la totalité de l'or produit aujourd'hui dans la province ne l'est pas du fait de ces compagnies, du moins il ne s'en faut de guère. Il n'y a guère à côté d'elles que quelques travailleurs isolés qui lavent pour leur compte le sable des rivières (*faiscadores*) ou s'acharnent à extraire un peu de

pierre de quelque filon de quartz. Les uns font de ce métier leur unique occupation et n'y gagnent guère leur vie; les autres y emploient leurs moments perdus et y perdent ce qu'ils gagnent d'autre part dans la pratique de leur métier ordinaire; d'autres enfin sont des esclaves à qui on abandonne les produits de leur travail du dimanche, et pour lesquels du moins le peu d'or qu'ils peuvent produire est tout bénéfice. Tous sont soutenus par l'espoir de trouver un jour quelque mine riche, quelque grosse pépite, espoir presque toujours déçu.

A côté d'eux quelques propriétaires de concessions installent une demi-douzaine de têtes de bocards et font travailler trois ou quatre ouvriers, non pas tant en vue d'exploiter leur mine que pour ne pas laisser périmer leur concession avant qu'arrive le jour où ils pourront la vendre à une compagnie étrangère. Ces derniers ont généralement, au sujet de la valeur de leur propriété, des prétentions exorbitantes : ces prétentions peuvent dans une certaine mesure se justifier par des exemples qui prouvent qu'il n'est pas indispensable qu'une mine soit bonne, et qu'il suffit parfois qu'elle soit chère, pour être vendue, sans même avoir été examinée par un homme compétent. Il y a, je crois, certains insuccès dont il ne faut pas chercher ailleurs la raison.

Mais, en somme, tous ces travaux isolés ne produisent pas grand résultat. On trouve à ce sujet, dans la première livraison des *Annales de l'École des mines d'Ouro-Preto*, un tableau intéressant des mines exploitées en 1814 dans le seul municipe d'Ouro-Preto, qui occupe une superficie d'environ 60 kilom. de long sur 30 de large. Il y avait à cette époque 66 exploitations en activité, employant 17 travailleurs libres et 538 esclaves, et 574 faiscadores (ouvriers indépendants) travaillant isolément sans concession, dont 57 libres et le reste esclaves. Ensemble ils produisaient annuellement 110 kilog. d'or. Aujourd'hui, sur le même

territoire, il existe à peine 5 à 6 exploitations semi-régulières et le nombre total des hommes qui s'emploient de façon ou d'autre à la recherche de l'or est de 80 à 100 environ. Ils produisent tout au plus 25 kilog. d'or par an.

En résumé, les trois compagnies anglaises de Morro-de-Santa-Anna, Pary et Morro-Velho sont seules organisées d'une façon appropriée aux conditions actuelles de l'exploitation de l'or dans la province. Bien d'autres compagnies anglaises y ont eu une existence plus ou moins longue, y ont obtenu des résultats plus ou moins brillants; je ne chercherai pas à refaire leur histoire, ce qui m'entraînerait hors de mon sujet, je me bornerai à étudier les travaux de celles que je viens de citer et qui seules travaillent actuellement avec régularité. Les deux dernières nous offriront un exemple d'exploitations de minerais pyriteux; la première exploite un gisement de jacutinga.

Exploitation de Morro-Velho. — Le gisement exploité à Morro-Velho est un filon de pyrite; la roche est constituée par un mélange intime, à grains très fins, de quartz, pyrite arsenicale et pyrite de fer, et accidentellement pyrite de cuivre, carbonate de chaux et sidérose, pyrite magnétique. Ce filon, sensiblement vertical, recoupe les couches de schistes; il est dirigé de l'Est quelques degrés Sud à l'Ouest quelques degrés Nord; il est très mince, mais présente un renflement considérable, une véritable colonne inclinée à 45° environ dans le plan du filon, ayant une épaisseur moyenne de 8 mètres et une étendue horizontale d'environ 95 mètres. C'est cette partie du filon qui est exploitée.

Une première exploitation, commencée à partir des affleurements, fut abandonnée à la suite d'un incendie des boisages qui en amena l'éboulement. On laissa alors sous les éboulements une épaisseur de minerai suffisante pour former un toit solide, et on reprit les travaux sous ce toit,

souterrainement, en y accédant au moyen de deux puits jumeaux exécutés dans la roche qui forme la paroi sud du filon. Ces travaux souterrains sont conduits suivant une véritable méthode d'exploitation à ciel ouvert; les tailles du fond sont disposées en forme de gradins droits et l'on descend avec cette disposition d'ouvrage, sans galerie ni remblai, tirant la totalité du minerai et laissant le vide au-dessus de soi. On a ainsi créé aujourd'hui, à la place occupée primitivement par la colonne de minerai dans le filon, une immense chambre souterraine dont les parois latérales sont verticales, le toit et le sol inclinés à 45° environ; cette chambre a actuellement, suivant son axe incliné, une longueur de plus de 200 mètres, et comme dimensions horizontales, aux divers points de sa hauteur, de 8 à 9 mètres dans un sens (d'une éponte à l'autre) et de 90 à 100 mètres dans l'autre.

Si solide que soit la roche encaissante, un pareil vide ne peut naturellement se soutenir de lui-même; on y obvie au moyen d'un boisage vraiment monumental. Ce soutènement est formé d'une énorme quantité de poutres horizontales qui traversent l'excavation d'une éponte à l'autre, avec des longueurs variant de 8 à 10 mètres, des équarrissages qui atteignent jusqu'à $0^{m},40$, tantôt constituées par un seul tronc d'arbre, tantôt faites en deux morceaux assemblés à trait de Jupiter. Quelques-unes de ces poutres, les plus rapprochées du toit, supportent une véritable ferme dont les arbalétriers sont coincés contre la roche. Il n'y a nulle exagération à dire qu'une véritable forêt est ainsi entrée peu à peu dans la mine; pendant une année, finissant en février 1880, on a introduit pour le soutènement 1.380 mètres cubes de bois; il est juste d'ajouter que cette consommation était exceptionnelle. On a, de la sorte, pu atteindre aujourd'hui, pour le fond des travaux, une profondeur verticale de 620 mètres, la hauteur verticale de l'excavation intérieure étant de 240 mètres environ. De la

partie supérieure on aperçoit, à travers le boisage, les lampes des ouvriers du fond comme autant de petits points brillants dans la nuit ; quand les ouvriers laissent au milieu de ce vide quelques poignées d'étoupe imbibées d'huile et allumées, qui l'illuminent durant un instant, le visiteur peut entrevoir vaguement l'ensemble de la grande chambre et de son boisage ; le spectacle a quelque chose de fantastique et tout au moins le mérite de la rareté, car je ne pense pas qu'aucune mine en présente un semblable.

Le voisinage des anciens travaux, abandonnés à la suite de l'incendie, produit une venue d'eau considérable. On l'extrait au moyen de pompes qui descendent verticalement dans le puits, puis à 45° dans l'excavation ; elles sont mues par une roue hydraulique et constituées, suivant le type ordinaire des pompes de mine, par un jeu aspirant au bas et une série de jeux foulants en répétition. La roue motrice est une roue à aubes et a 16^{m},50 de diamètre et 1^{m},70 de largeur ; elle est à environ 200 mètres de distance du puits et communique le mouvement aux tiges au moyen d'un va-et-vient rigide.

Le moteur d'extraction est également une roue à augets, roue à double aubage, de 15^{m},90 de diamètre et 3^{m},70 de largeur. Elle est placée près de la roue des pompes, assez loin du puits par conséquent ; le treuil d'extraction est placé sur l'axe de la roue, et, de là jusqu'aux molettes, les câbles sont guidés sur des galets. Jusqu'à ces dernières années, l'extraction était faite au moyen de cages en fer fort grandes et fort lourdes (elles pesaient vides 1.270 kilog.), qui descendaient librement dans le puits et ensuite glissaient à travers la chambre inférieure jusqu'aux tailles sur un grand plancher en bois.

Aujourd'hui, on a modifié ce système : dans le puits d'extraction, qui a une profondeur de 457^{m},25, la roue fait circuler deux cages guidées ; chaque cage a deux étages

qui reçoivent chacun deux wagons. Les wagons pèsent vides 300 kilog. et chargent 700 kilog. de minerai, la machine élève donc à chaque voyage un poids utile de 2,8 à 3 tonnes. A partir du niveau de la recette inférieure, sur les 160 mètres restants, l'extraction est faite par un moteur intérieur à air comprimé; ce moteur met en mouvement un treuil sur lequel s'enroulent, en sens inverses, deux câbles : l'un des deux conduit un chariot mobile sur un plan incliné aérien; au-dessous de ce chariot est pendue la benne qui peut être conduite, en suivant le plan incliné, au point le plus bas de la mine, ou, si l'on arrête le chariot en un point intermédiaire, atteindre le sol sur la verticale de ce point d'arrêt; cette benne porte 1.500 kilog. de minerai.

A l'autre câble est liée une benne qui descend verticalement à une profondeur moindre et porte environ 3.500 kilog. de minerai. Ces deux bennes viennent alternativement se vider au niveau de la recette inférieure du puits; le minerai amoncelé en ce point sert à charger les wagons qui, par une petite galerie, arrivent au puits, percé comme je l'ai dit dans l'éponte sud du filon. Le câble d'extraction, en acier, pèse $6^k,5$ par mètre. L'installation toute récente de ce système d'extraction permet de descendre les hommes dans les cages au moins jusqu'à la recette inférieure du puits; il y a deux ans encore, ils descendaient la hauteur totale par des échelles; pendant peu de temps, avant l'installation des cages, ils ont eu à leur disposition une fahrkunst.

A l'intérieur, le minerai est abattu à la dynamite, les trous de mine étant faits à la main; des essais de perforation mécanique n'ont pas donné de bons résultats; je n'ai jamais eu occasion de me trouver à Morro-Velho lors de ces essais, et je ne puis, par conséquent, indiquer les motifs d'un insuccès assez extraordinaire dans les conditions où se fait cette exploitation.

La totalité du minerai extrait en 1880 a été de 63.684 tonnes métriques en 310 jours de travail, soit plus de 200 tonnes par jour.

Ce seul chiffre, si l'on tient compte de la profondeur de la mine, suffit à montrer qu'il s'agit là d'une entreprise considérable, d'autant plus qu'il ne faut pas perdre de vue la difficulté qu'il y a à réunir, dans un pays où les transports sont ce que j'ai eu déjà occasion de dire, le matériel indispensable à une pareille exploitation. Morro-Velho, en somme, est aujourd'hui encore à 150 kilomètres de distance de la tête de ligne du chemin de fer le plus voisin (E. F. D. Pedro II) ; il y a cinq ans, la distance était double : on ne trouve pas de fonte dans le pays ; le fer lui-même y est aux prix exagérés que l'on a vus, et encore dès qu'il s'agit d'en faire un objet un peu difficile à fabriquer, il faut le faire travailler par des ouvriers européens. Le bois seul, et du bois de qualité excellente, abonde. Les difficultés sont donc sérieuses, et il est dès maintenant facile de prévoir que les dépenses sont, comme je le montrerai ultérieurement, considérables. Ces difficultés sont justement celles contre lesquelles lutterait toute autre compagnie qui tenterait une exploitation analogue ; peut-être même, vu la grande profondeur des travaux et vu l'extension rapide des chemins de fer, ces difficultés sont-elles à Morro-Velho plus grandes qu'elles ne le seraient ailleurs. Pour ces motifs, je pense qu'il sera intéressant d'étudier avec quelque soin les conditions de la production de l'or à Morro-Velho.

Dans ce travail, je m'attacherai surtout à l'étude des procédés de traitement du minerai ; c'est là, en fait, la partie la plus intéressante, puisqu'il s'agit d'un minerai d'une nature spéciale, quoique commun dans le pays. Quant aux appareils employés, je me contenterai, comme je l'ai fait jusqu'ici, de les désigner par leur nom, sans autre description, à moins de particularité notable ; en effet, ils

ne présentent, en général, rien de bien spécial, et ne sont, en somme, que la reproduction du matériel courant dans l'exploitation des mines, matériel trop connu pour qu'il vaille la peine de s'attarder à une description de détail.

J'ajouterai toutefois que, malgré les difficultés que j'ai signalées, et quelle que soit du reste la valeur absolue des méthodes adoptées, l'ensemble est remarquablement exécuté et entretenu, sous la direction d'un état-major européen considérable, et, à ce titre encore, les résultats obtenus méritent de fixer notre attention.

Le minerai sortant de la mine, pauvre, est enrichi par préparation mécanique, l'or en est ensuite extrait par amalgamation, les deux traitements mécanique et métallurgique étant intimement liés et présentant la série d'opérations suivantes.

Le minerai est soumis tout d'abord à un cassage et à un triage ; la partie utile est envoyée aux bocards et ensuite s'écoule sur des tables dormantes.

Il se dépose sur ces tables une matière enrichie qui va directement à l'amalgamation.

Il s'en échappe du sable appauvri, qui est réduit en poudre plus fine sous des arrastras et donne, sur de nouvelles tables : 1° un peu de sable riche à amalgamer; 2° beaucoup de sable fin pauvre.

De ce dernier, la plus grande partie est enlevée à l'état de boue par le courant d'eau et perdue ; une partie cependant se dépose à la sortie des appareils et est conservée, pour être retraitée quand on aura trouvé un procédé pratique pour extraire le peu d'or qu'elle contient.

Le sable enrichi, bon à traiter, est amalgamé dans des tonneaux ; l'amalgamation terminée, la matière s'écoule dans des caisses disposées de façon à produire la dissolution de l'amalgame dans une certaine quantité de mercure; puis ce qui s'échappe passe sur des tables dormantes. Le

dépôt de ces tables retourne à l'amalgamation, ce qui s'en échappe va aux arrastras pour y être retraité. L'amalgame filtré est distillé dans un four à cornues et l'or produit fondu ensuite en lingots.

Tel est l'ensemble du traitement que je vais essayer de suivre en détail.

Les bocards, à tige en bois et tête de fer, sont du modèle ordinaire. Ils sont au nombre de 126, mus par 5 roues en dessus et donnent de 52 à 67 coups par minute. Ils ont, en 1880, broyé 60.983 tonnes de minerai, soit par jour 171 tonnes, et par flèche et par jour 1.960 kilog. Le broyage est fait en poudre très fine, nécessité imposée par le degré de ténuité excessif de l'or dans ce minerai ; les toiles en cuivre qui laissent passer la matière broyée ont sensiblement 400 trous par décimètre carré, ces trous ayant, quand la toile est neuve, 1/2 millimètre de diamètre. On commence à remplacer ces anciens bocards par d'autres entièrement métalliques, disposés de façon à prendre, pendant le soulèvement, un léger mouvement de rotation autour de l'axe de la tige.

Les tables dormantes sont en bois, couvertes en zinc ; elles ont toutes de $0^m,25$ à $0^m,30$ de largeur et une inclinaison de $0^m,08$ par mètre, inclinaison qui reste la même pour toutes les phases du traitement. Elles sont recouvertes de toiles grossières en coton ; quand le dépôt est à sa hauteur sur une table, on arrête la lavée ; des femmes enlèvent un à un les morceaux de toile (ils ont environ $0^m,50$ de longueur), vont les laver dans une cuve pleine d'eau, les remettent en place et redonnent la lavée. On commence actuellement, pour éviter les frais de main-d'œuvre qu'entraîne ce procédé, à employer des tables en forme de prisme triangulaire mobile autour d'un axe parallèle aux faces ; chaque face du prisme peut être ainsi amenée dans une position convenable pour recevoir la lavée, puis ensuite, par une rotation de 120°, dans une posi-

tion telle qu'elle puisse être nettoyée avec une lance d'eau.

Les arrastras sont construites comme les arrastras mexicaines : sur une auge en pierre, construite avec des morceaux de minerai pauvre, circulent deux gros blocs également de minerai pauvre ; ces blocs sont attachés par des chaînes aux deux extrémités d'une pièce de bois horizontale reliée invariablement à un axe vertical ; le tout est mis en mouvement par des roues hydrauliques, au moyen d'engrenages en bois. Le nombre total de ces arrastras est de 23.

Je ne puis mieux faire, pour donner une idée de la répartition du minerai entre ces divers appareils, que de résumer des renseignements fournis par un rapport officiel de la compagnie (année 1880), et relatifs à un traitement de 162,5 tonnes par jour ; la quantité de matière effectivement extraite en un jour est, on l'a vu, un peu supérieure, mais mélangée de stérile que l'on sépare dès l'origine.

Le cassage du minerai gros, cassage accompagné d'un triage, est fait par deux concasseurs à mâchoire qui peuvent casser 28 tonnes, et, pour le reste, par 45 travailleurs.

L'ensemble du traitement, commençant à cet atelier de cassage suivi des ateliers proprement dits de Morro-Velho, s'achève à une certaine distance et à un niveau plus bas, à un endroit appelé *la Praïa ;* je conserverai ces dénominations.

Les 162,5 tonnes de matière se partagent tout d'abord en 32,5 tonnes plus pauvres, qui, broyées à l'un des bocards (30 flèches), vont directement à la Praïa, et en 130 tonnes qui, broyées aux autres bocards et passant sur les tables dormantes, déposent 9 tonnes de sables riches, prêts pour l'amalgamation. Il se perd 2 tonnes à l'état de boues. Restent 119 tonnes, qui, à la sortie des tables, déposent 63 tonnes de matière à traiter aux 16 arrastras de Morro-

Velho, tandis que le reste, 56 tonnes, est entraîné à la Praïa.

Ces 56 tonnes sont réunies aux 32,5 que j'ai indiquées déjà, ce qui fait 88,5 ; il vient s'y joindre encore les sables provenant de l'amalgamation et ceux qui s'échappent des tables dormantes des arrastras, et comme le poids de l'or abandonné par ces matières est ici négligeable, cela fait un total de 151 tonnes, arrivant à la Praïa.

Mais de ces 151 tonnes, 109 disparaissent à l'état de boues trop ténues pour se déposer, et il n'en reste, par suite, que 42 à traiter.

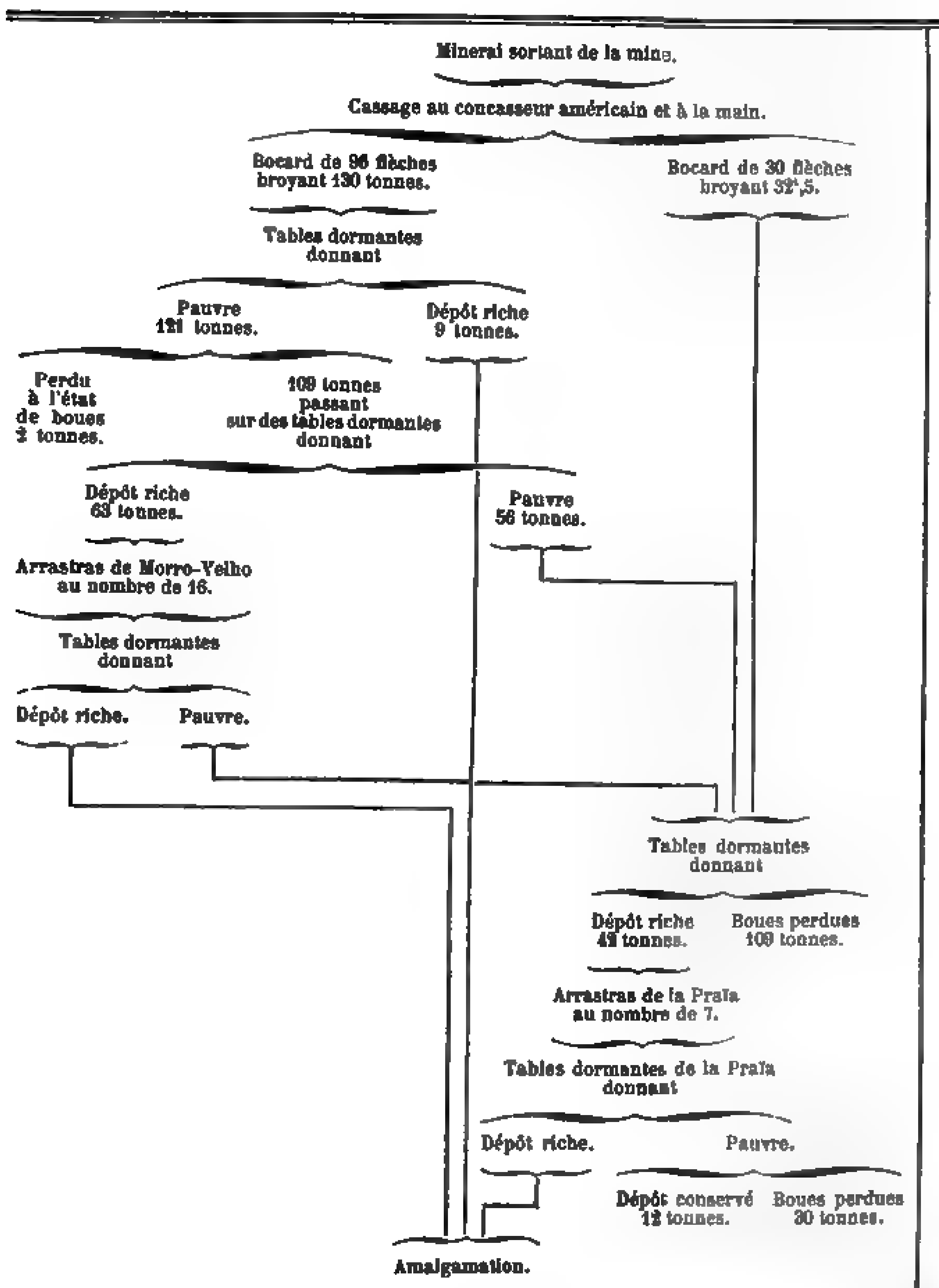
Ce traitement se fait aux 7 arrastras de la Praïa. A la sortie des arrastras, il se dépose un peu de sable enrichi sur les tables, sable à amalgamer, et il s'échappe des tables du sable fin, dont une partie (12 tonnes), disparaît à l'état de boues, tandis que le reste (30 tonnes), se dépose et est conservé pour être retraité le jour où les essais qui sont poursuivis constamment, comme je le dirai plus loin, auront abouti à un procédé permettant d'en tirer encore un peu d'or.

Le tableau ci-contre n'est que la reproduction exacte des indications ci-dessus : peut-être, cependant, les rendra-t-il plus claires.

L'amalgamation est faite dans des barils tournants, du modèle des barils de Freyberg, mus par une roue en dessus. Il y a seize de ces barils, ils ont $1^m,50$ suivant l'axe, $0^m,91$ de diamètre, et font 14 révolutions par minute. Ils reçoivent de 800 à 900 kilog. de minerai, 20 à 22 kilog. de mercure, de l'eau de façon à les remplir à peu près complètement (la hauteur maxima de vide au-dessus du niveau de l'eau est de $0^m,15$), et au bout de vingt-quatre heures de rotation, l'amalgamation est complète.

La matière qui sort du tonneau s'écoule alors lentement, à la faveur d'un petit courant d'eau, à travers des caisses de section horizontale rectangulaire ; ces caisses reçoivent

Tableau de la préparation mécanique à Morro-Velho de 162t,5 de minerai d'or.



au fond 100 à 150 kilog. de mercure ; le couvercle est animé d'un mouvement de va-et-vient parallèlement aux longs côtés ; il porte des cloisons verticales parallèles aux petits côtés et munies au bas de pointes de fer qui râclent constamment la surface du mercure, de sorte que la lavée, entrant par une extrémité de la caisse pour sortir par l'autre, est obligée de passer tout entière au contact du mercure et l'amalgame se dissout.

A la sortie des caisses, la lavée passe sur des tables dormantes et ce qui s'échappe va à des arrastras.

Il existe à Morro-Velho un moulin d'amalgamation américain (*pan*), qui, après divers essais, a été abandonné. On l'y considère comme un appareil bon comme amalgamateur, mais produisant une perte de mercure excessive. Vu la nature de la matière traitée qui, après préparation mécanique, est réduite à n'être plus en fait qu'un mélange d'un peu d'or et de beaucoup de pyrite, un pareil résultat n'a rien qui doive surprendre, et il est tout naturel que le baril complètement fermé soit plus avantageux.

La distillation de l'amalgame dans un four à cornues ne présente aucune particularité digne de mention.

Il me reste à examiner les résultats de ce traitement.

Le minerai de Morro-Velho doit être considéré comme pauvre. Reprenant l'ensemble des $162^t,5$ dont j'ai indiqué la répartition journalière entre les divers appareils de préparation mécanique, la richesse moyenne est de 30 grammes par tonne de minerai (tonne de 1.000 kilog.), exactement $4.875^{kg},6$, pour l'ensemble de $162^t,5$.

L'or contenu dans le minerai se répartit aux diverses périodes de la préparation mécanique de la façon suivante :

Sur les premières tables dormantes, à la suite des bocards, il reste en tout 3.604 grammes d'or dans les 9.144 kilog. de matière déposée sur ces tables.

Ce sable ainsi enrichi va à l'amalgamation ; on en retire, par distillation de l'amalgame obtenu, 3.443 grammes ; il reste donc dans les résidus de l'amalgamation 162 grammes ; de ces 162 grammes, 12 grammes sont perdus dans les boues.

Il reste, dans les matières échappées aux premières tables et dans celles qui proviennent du traitement de l'amalgame, un total de 1.420 grammes, sur environ 160 tonnes de matière.

62 tonnes, on l'a vu, passent aux arrastras de Morro-Velho ; il y faut joindre 7 tonnes environ, provenant du traitement de l'amalgame, soit un total de 70 tonnes. Ces 70 tonnes tiennent ensemble

883gr,4 d'or.	883gr,4
On en retire 13,6 p. 100, soit.	120 ,1
Il reste donc.	763gr,3

dans les matières qui s'échappent de cette seconde série de tables. Sur ce poids de 763gr,3, on perd 88 grammes dans les boues.

Les 151 tonnes de sables qui arrivent à la Praïa contiennent donc en tout 1.212gr,5 d'or.

109 tonnes, on le sait, se perdent à l'état de boues, ces 109 tonnes emportent avec elles 700gr,3.

On retire par le traitement 15 p. 100 de l'or contenu dans les 42 tonnes soumises au traitement, soit un total de 77 grammes.

12 tonnes qui s'échappent encore à l'état de boues pendant ce dernier traitement, entraînent avec elles un poids total de 69gr,5.

Enfin, les 30 tonnes qui se déposent à la Praïa à la fin du traitement et sont conservées, retiennent ensemble un poids total d'or de 365gr,7, soit par tonne, une richesse de 12gr,19.

En résumé :

On retire :		On perd :	
Du sable déposé sur les premières tables.	grammes 3.443,0	Dans les amalgames des sables des premières tables. .	grammes 12,0
Du sable déposé sur les tables des arrastras de Morro-Velho.	120,1	Dans les boues des tables des arrastras de Morro-Velho. .	88,0
Du sable déposé sur les tables de la Praïa.	77,0	Dans les 109 tonnes de boues perdues avant la Praïa. . .	700,3
		Dans les 12 tonnes échappées à la fin.	69,5
Total.	3.640,1	Total.	869,8

En tout.	4.509^{gr},9
Il reste dans le dépôt de sable conservé à la Praïa.	365 ,7
Total égal.	4.875^{gr},6

On peut, jusqu'à nouvel ordre, considérer comme réellement perdu l'or qui reste dans le dépôt de la Praïa ; c'est donc une perte de 25,4 p. 100 de l'or contenu dans le minerai.

Partant d'un minerai tenant 30 grammes d'or par tonne en moyenne, on en retire sensiblement 75 p. 100 du contenu, et on arrive, par le traitement tel qu'il est conduit, à des sables dont la richesse est de 12 grammes par tonne et dont on n'a pas pu jusqu'ici retirer l'or par une prolongation de traitement dont les frais ne soient pas excessifs. Ce sont les deux résultats importants qui ressortent du tableau ci-dessus.

Les chiffres indiqués sont, du reste, des résultats d'ensemble, de véritables moyennes ; en fait, dès la halle de cassage, le minerai est divisé en deux catégories, l'une plus riche, l'autre plus pauvre ; ces deux catégories, traitées séparément, donnent comme rendements des résultats assez différents l'un de l'autre.

C'est ainsi que, pour l'année allant de fin février 1879 à fin février 1880, 48.222 tonnes de minerai ordinaire (le moins riche des deux), tenant par tonne 28 grammes, ont rendu moyennement 19^{gr},9, soit une perte de 28,7 p. 100.

Pendant la même période, on a traité 12.761 tonnes de minerai plus pur, tenant par tonne 39gr,36, qui ont rendu par tonne 29gr,08, soit une perte de 26 p. 100 seulement. Les variétés plus riches perdent donc proportionnellement moins que les autres, ce qui n'a du reste rien que de très naturel.

Quant à la contradiction entre ces deux chiffres et celui que j'ai cité un peu plus haut, elle doit, je pense, être attribuée à ce fait, qu'à Morro-Velho ces évaluations sont faites de deux façons différentes : tantôt en comparant le rendement obtenu à la teneur fournie par l'essai du minerai traité ; tantôt en comparant la teneur d'essai du minerai à traiter et des matières rejetées.

En fait, on peut, je pense, admettre que, pour du minerai à une richesse moyenne de 30 grammes, la perte est réellement comprise entre 25 et 26 p. 100.

Si élevée que soit cette perte, elle n'est peut-être pas exagérée, si l'on tient compte de la difficulté de l'enrichissement d'un minerai dans lequel l'or est à un état de ténuité tel qu'il n'est jamais visible à l'œil nu dans la roche et ne peut être montré dans la battée, même par un bon laveur, qu'à condition d'opérer sur du sable enrichi et dont la gangue est formée, pour la majeure partie, d'une matière dense comme la pyrite arsenicale. Il est en outre fort possible qu'une faible partie ne soit pas à l'état d'or natif et échappe par suite à l'amalgamation.

Cependant, la compagnie de Morro-Velho, préoccupée du désir de diminuer cette perte, poursuit sans relâche des essais dont le but est de retirer économiquement un peu d'or des minerais déposés à la Praïa. Ces matières sont broyées à nouveau ; pour quelques-unes, déposées depuis longtemps, le véritable grillage qu'elles ont peu à peu éprouvé par l'action des agents atmosphériques, rend assez facile la réduction en poudre très fine ; on a même, à ma connaissance, construit un four à réverbère, dans le but de

procéder à un grillage systématique du minerai ; on a essayé pour l'enrichissement tous les appareils connus de préparation mécanique, caisses à courants d'eau, tables coniques, et même tables Rittinger.

Quoique jusqu'ici on ne soit pas arrivé à un résultat satisfaisant, ces essais n'en présentent pas moins un réel intérêt, puisque la compagnie possède aujourd'hui à la Praïa une accumulation énorme de minerai, très pauvre, il est vrai, mais déjà extrait, déjà payé, et par suite, ne coûtant rien ; seulement, il me semble que ces efforts gagneraient à être dirigés dans une voie un peu différente. Les minerais déposés à la Praïa ont, on l'a vu, une très faible teneur, 12 grammes par tonne environ. A ce degré de teneur, il est permis de penser que le traitement sera toujours difficile, et que dans le cas actuel, il le sera d'autant plus qu'il s'agit d'une matière qui a déjà été soumise à trois opérations d'enrichissement, sans y abandonner l'or qu'elle contient. J'imagine qu'il pourrait être moins dispendieux de chercher, en perfectionnant le traitement actuel du minerai à lui faire produire un rendement meilleur, plutôt que d'essayer d'obtenir le même accroissement de rendement, ou même un accroissement plus grand, en traitant sur de nouveaux frais les rebuts des premières opérations ; ou, en d'autres termes, que toutes les tentatives faites durant ces dernières années auraient eu plus de chances d'aboutir si elles avaient été faites sur le minerai de la mine, au lieu de l'être sur les dépôts de la Praïa, et cela d'autant plus que le traitement actuel est défectueux au moins par un côté.

J'admettrai volontiers que l'on ne peut guère chercher à broyer aux bocards le minerai en poussière plus fine que celle qui est produite actuellement ; mais chacun sait aujourd'hui qu'un bon classement par densité ne peut être obtenu qu'à la condition d'être précédé d'un classement en grosseur ou tout au moins d'une ébauche de classement en grosseur. On ne fait rien de pareil à Morro-Velho : tout ce

qui sort des bocards passe immédiatement et ensemble sur des tables dormantes; il en est de même de la matière sortant des arrastras qui passe en bloc sur des tables dont la disposition est identique à celle des premières. Pour des matières aussi fines que celles que produisent les bocards de Morro-Velho, un classement èxact par grosseur, au moyen de cribles ou trommels, est impossible, mais du moins serait-il possible d'obtenir un classement approximatif dans des appareils à courants d'eau, caisses pointues de quelque modèle que ce soit. Ces appareils seraient ici d'autant plus indiqués qu'ils se prêtent facilement à une production journalière considérable. Les matières déposées dans chaque caisse pourraient alors être traitées séparément sur des tables diverses et présentant chacune une inclinaison appropriée au degré de finesse des matières, au lieu des tables toujours de même inclinaison employées aujourd'hui. Ce ne sont là, je le sais fort bien, que des vues théoriques sur lesquelles l'expérience aurait à se prononcer, mais enfin ce sont celles qui ont guidé pour l'organisation des meilleurs ateliers de préparation mécanique; il n'y a pas de motif pour que les minerais d'or fassent exception, et puisqu'on était décidé à Morro-Velho à entreprendre des essais d'amélioration, celui que j'indique aurait été, je crois, beaucoup plus intéressant que ceux qui ont été faits jusqu'ici.

Il est un second point que je ne voudrais pas passer sous silence. Soumis au grillage, les minerais de l'espèce de celui de Morro-Velho produisent une grande quantité d'oxyde de fer qui, au lavage, reste à l'état de poudre impalpable en suspension dans l'eau, comme fait l'argile; le lavage est facilité d'autant. J'ai pu vérifier le fait au laboratoire, sur du minerai de Morro-Velho enrichi, prêt pour l'amalgamation; après grillage, un médiocre laveur à la battée a pu réunir et montrer au fond de la battée un peu d'or visible, résultat que le même laveur ne pouvait pas

obtenir sur le même minerai avant grillage. On a certainement eu conscience de ce fait à Morro-Velho et de son utilisation possible, puisqu'on y a construit un four de grillage; mais ici encore, on s'est, je crois, trompé sur les conditions de son application possible; on y a voulu griller les dépôts pauvres de la Praïa, matière pulvérulente, d'un grillage difficile, exigeant des fours spéciaux. Combien n'aurait-il pas été plus intéressant de faire la même tentative sur le minerai sortant de la mine? On y aurait tout d'abord trouvé cet avantage que le grillage eût pu être fait en tas, sans four spécial, presque sans consommation de combustible, vu l'abondance des pyrites de diverses sortes, et il me paraît vraisemblable que la faible dépense de main-d'œuvre et de combustible, entraînée par ce grillage, aurait été compensée et au delà par la diminution des frais de broyage. De plus, si le grillage pouvait avoir une influence utile sur le traitement des dépôts de la Praïa, il aurait eu nécessairement la même sur le minerai normal et on aurait en une fois obtenu le maximum de rendement.

Il est bien entendu que je n'indique pas ici l'emploi du grillage comme un moyen de détruire les combinaisons dans lesquelles l'or peut être engagé. Rivot a montré qu'il est pour cela insuffisant; je n'ai en vue que la facilité plus grande qu'il apporterait peut-être à l'extraction de la partie de l'or qui est déjà à l'état natif. Au surplus, sans nier la possibilité qu'il existe dans le minerai de Morro-Velho de l'or à l'état de combinaisons diverses, je suis convaincu que ce ne doit être qu'une fraction extrêmement faible de l'or total. Je vois la preuve de ce que j'avance : 1° dans les rendements obtenus à l'amalgamation et indiqués plus haut; 2° dans ce fait qu'en prenant à la Praïa les dépôts enrichis dans les appareils d'essais, de bons laveurs y montrent à la battée de l'or libre.

Je ne prétends en aucune façon, en faisant ces observa-

tions, influer sur la direction imprimée aux travaux de la compagnie de Morro-Velho; mais, ayant surtout en vue d'étudier les conditions de la production de l'or, avant d'indiquer les résultats économiques de l'entreprise dont je m'occupe en ce moment et qui est de beaucoup la mieux dirigée de celles qui existent dans la région, je tenais à montrer qu'il serait vraisemblablement possible d'obtenir mieux encore.

Quoi qu'il en soit, et reprenant à Morro-Velho les choses en leur état actuel, il me reste à dire quels sont les résultats.

Du 1er mars 1879 au 1er mars 1880, on a amalgamé 3.898 tonnes de sable, tenant 375 grammes environ par tonne.

La quantité d'amalgame produit a été de 3.400 kilog. et il a laissé par distillation 1.438.358 grammes d'or. Cet or est au titre moyen de $\frac{822}{1000}$.

La perte totale de mercure a été, dans le courant de la même année, de 825 kilog.

Voici, du reste, un tableau indiquant, pour trois années consécutives la quantité de minerai broyé, la valeur de l'or produit et la dépense :

	ANNÉES finissant le 31 mars		
	1878	1879	1880
Tonnes de minerai broyé . . .	69.002	70.661	64.554
Valeur de l'or produit	194.533	167.449	152.719
Dépenses	90.959	88.990	89.717
Bénéfice.	103.574	78.459	63.001

Ainsi, dans le courant de l'année finissant en 1880, 64.554 tonnes ont produit un bénéfice de 63.001 liv. sterl. (exactement 24f,52 à 25f,15 la livre), soit près d'une livre par tonne, permettant de distribuer un dividende de 25 p. 100. Ce minerai a donné en moyenne 21g,57 par tonne,

soit $17^g,73$ or et $3^g,84$ argent, représentant une valeur de $68^f,20$ environ ; d'où il résulterait que la dépense moyenne pour l'extraction et le traitement d'une tonne de minerai se serait élevée à $43^f,68$.

Tout le travail est exécuté, sous la direction d'un état-major européen nombreux, par un petit nombre de maîtres-ouvriers anglais et par des Brésiliens libres, ou des esclaves loués par la compagnie et dont elle a la charge complète, y compris le logement et la nourriture. Entre ce personnel les dépenses ci-dessus se répartissent en :

	1879-80	1878-79
Personnel européen	19.728 liv. sterl.	17.357 liv. sterl.
Main-d'œuvre : ouvriers libres et loyer d'esclaves	31.493 —	29.553 —
Magasin, matériel, animaux	31.573 —	34.620 —
Transport à Rio, droit d'exportation, divers	6.922 —	7.468 —

Le tableau suivant donnera une idée du nombre de bras employés et de la répartition des travailleurs entre les divers services; il indique le nombre moyen d'ouvriers employés chaque jour dans les diverses parties des travaux, pour l'année 1880 :

	EUROPÉENS.	BRÉSILIENS. — Libres et esclaves.	EUROPÉENS et Brésiliens.
Mine	37,17	361,33	»
Préparation mécanique, amalgamation, etc.	7,50	323,33	»
Machines diverses	»	»	324

Ajoutant 15 Européens formant l'état-major de la compagnie et un certain nombre de personnes employées à des services divers (hôpital, cuisines, transports, etc.), on arrive au total de :

Année 1880 :	90 Européens	et	1.211	Brésiliens.
En 1879, ces nombres étaient	72 —	et	1.299	—
En 1878 — —	59 —	et	1.373	—

En estimant le change à 400 reis par franc, les travailleurs gagnent en moyenne :

Un boiseur.	6f,50 par jour.
Un mineur au rocher	5f,50 —

Quant aux esclaves, on les paye à raison de 52f,50 par mois pour les hommes et 37f,50 pour les femmes, mais on les loge, les habille et les nourrit.

La question de la main-d'œuvre est, du reste, de celles qui doivent préoccuper le plus vivement les exploitants. En l'état actuel on ne peut guère confier un travail un peu délicat qu'à un ouvrier européen : on ne trouve pas dans le personnel indigène d'ouvriers suffisamment habiles pour les remplacer. Quant aux ouvriers indigènes, à qui on laisse les travaux plus faciles, il est à peu près impossible d'obtenir d'eux qu'ils se soumettent à un travail régulier ; sous les prétextes les plus futiles, ils s'accordent à eux-mêmes un ou plusieurs jours de congé, manquent juste au moment où leur présence était le plus nécessaire, et on est désarmé contre une telle manière d'agir, car ils n'attachent aucune importance à leur renvoi possible.

On n'a rien à craindre de pareil avec les esclaves, puisqu'à leur égard on dispose de procédés infaillibles pour les obliger à travailler ; encore faut-il dire que de pareils procédés ne sauraient être employés par tout le monde sans répugnance ; en outre, grâce aux lois nouvelles, l'esclavage disparaît peu à peu, et par suite les loyers augmentent, le recrutement devient difficile.

J'ajouterai qu'il est bien rare qu'un ouvrier indigène fasse autant de travail dans une journée qu'un ouvrier européen ; je parle d'un ouvrier libre naturellement, pour un esclave, la chose est trop évidente pour qu'il soit besoin de le dire.

En présence de ces difficultés, la compagnie de Morro-Velho va tenter une expérience qui ne laissera pas d'être intéressante pour tous ceux qui peuvent dans le pays avoir besoin de main-d'œuvre : elle va faire venir des ouvriers chinois. Elle en a déjà une vingtaine, dont on paraît satisfait.

La compagnie, obligée d'entretenir aujourd'hui encore de nombreux esclaves, possède un magasin qui fournit des vivres au personnel et certaines matières à l'exploitation : dynamite (venue d'Europe), mèches Bickford (fabriquées sur place), chandelles de suif pour l'éclairage intérieur. Chaque ouvrier entre, en effet, dans la mine avec son paquet de chandelles, et il semble que cette partie de l'organisation pourrait facilement être améliorée : peu de mines, en effet, se prêteraient aussi facilement que celle-là à un éclairage économique par foyers puissants.

Morro-Velho possède, en outre, un hôpital, qui a reçu 1.360 malades en 1879-80, des chapelles et des écoles catholiques et protestantes.

Tout y est mis en mouvement au moyen de l'eau : cette eau est amenée de tous les points du voisinage par des canaux de plusieurs kilomètres de longueur totale; l'un d'eux traverse, par un double siphon renversé, une petite vallée.

Il s'agit là, en somme, les quelques chiffres que j'ai cités suffisent à le prouver, d'une entreprise considérable, qui a eu à lutter, pour en arriver à son complet développement, contre de très notables difficultés, dues surtout à l'état des moyens de transport et à la nécessité d'amener d'Europe presque tout le matériel. Morro-Velho constitue aujourd'hui un grand village anglais, dont l'activité et la bonne tenue font un singulier contraste avec tout ce qui l'entoure, et frappe agréablement le voyageur.

La même compagnie commence en ce moment une nouvelle exploitation à Cuyaba, à 20 kilomètres environ de

Morro-Velho; on en est encore à la période des travaux préparatoires : il m'est donc impossible d'en rien dire d'intéressant.

Les autres exploitations en activité sont beaucoup moins importantes et me retiendront moins longtemps.

Exploitation de Pary. — La compagnie de Santa-Barbara exploite, en un lieu appelé Pary, un filon-couche de pyrite de fer, pyrite arsenicale et quartz, avec amphibole, grenat et mica. Ce gisement est dirigé N.-S. et incliné de 45 à 50° vers l'Est; il a une puissance régulière de 2 mètres à 2^m,50, mais une composition assez variable; en certains points, j'y ai pu voir la couche comme partagée en deux, la partie supérieure composée presque exclusivement de quartz, amphibole, grenat et mica, stérile; la partie inférieure, seulement de quartz et pyrite, toute cette partie inférieure aurifère, présentant la plus grande analogie avec le minerai de Morro-Velho. C'est à peine si, à la séparation, les deux espèces de roche étaient mélangées sur une petite épaisseur. En d'autres points, les deux roches sont au contraire mélangées depuis le toit jusqu'au mur. Mais en somme, rapportée à l'épaisseur totale de la couche, la proportion de roche pyriteuse paraît être assez uniforme.

Ce gisement affleure au flanc d'une colline qui vient mourir sur la rive gauche du Rio San-Francisco : à quelques mètres au-dessus du niveau de l'eau, une longue galerie en direction s'enfonce dans le gisement, elle sert à la sortie du minerai. Toute la partie du gîte qui est au-dessus de cette galerie a été exploitée; elle est remblayée, sauf un plan incliné, tracé suivant l'inclinaison, qui recoupe la galerie en direction, traverse au-dessus les remblais et sert au-dessous de voie de transport pour l'élévation des minerais. Les travaux actuels sont tout entiers au-dessous de la galerie horizontale et à droite du plan

incliné pour qui le descendrait ; ils présentent dans leur ensemble une disposition en tailles chassantes d'une régularité parfaite. Entre les tailles et le plan incliné, le toit et le mur étant très solides, le vide est soutenu simplement par quelques chandelles et, seulement par places, bien en arrière des tailles, par un peu de remblai.

Le plan incliné d'extraction s'élève, comme je l'ai dit, à travers les remblais au-dessus de la galerie horizontale et vient ainsi déboucher au jour ; il est muni de rails en bois sur lesquels circulent de petits wagons. Le service est fait au moyen de deux manèges mus par des mulets ; l'un est installé au jour, au débouché du plan incliné, l'autre est installé à l'intérieur, un peu au-dessus du point d'intersection de la galerie horizontale et de la galerie inclinée. Des tailles au plan incliné, le transport se fait par brouettes, et sur ce plan par des wagons qui se vident dans un dépôt situé immédiatement au-dessus de la galerie horizontale. Là, au moyen de registres, on laisse couler le minerai dans des wagons plus grands. Ceux-ci, attelés deux à deux, sont traînés dans la galerie horizontale jusqu'à la halle de triage par des mulets, un mulet pour deux wagons. Actuellement, la profondeur verticale de la galerie de roulage au-dessous du manège extérieur est de 75 mètres ; la profondeur verticale du fond des travaux au-dessous de la galerie de roulage est de 105 mètres.

La mine donne très peu d'eau ; le peu qu'elle donne est élevé par des pompes ordinaires au niveau de la galerie de roulage, d'où elle s'écoule naturellement. Ces pompes sont mises en mouvement par un manège attelé de deux mulets.

Le minerai apporté de la mine est versé sous une grande halle où le cassage et le triage sont faits à la main par des femmes ; la séparation des deux roches est assez facile pour qu'on puisse n'envoyer aux bocards que du minerai pyriteux analogue à celui de Morro-Velho ; le transport du

minerai jusqu'aux différents bocards, situés à des niveaux un peu plus élevés que la halle de triage, est fait par tombereaux.

La préparation du minerai et l'extraction de l'or se font comme à Morro-Velho, mais le travail est ici considérablement simplifié et beaucoup plus imparfait.

La compagnie possède quatre jeux de bocards ; ces bocards sont en bois, mus par des roues en dessus ; chaque flèche pèse, tête comprise, environ 115 kilog., et a une hauteur de chute de 25 à 30 centimètres. Voici, pour le mois de novembre 1880, le tableau des matières traitées à ces bocards :

JEUX de bocards.	NOMBRE DE FLÈCHES total.	NOMBRE DE FLÈCHES en travail.	COUPS par minute.	JOURS de travail.	NOMBRE total de tonnes.	TONNES par jour.
N° 1.	12	10	45	29,73	149	5,19
N° 2.	12	9	38	29,33	240	8,20
N° 3.	15	15	39	28.50	295	10,33
N° 4.	12	[illegible]	58	29,62	421	14,23
	51	46		Moyenne 29,04	1.105	37,95

A la fin de 1879, les mêmes bocards broyaient par mois 1.068 tonnes.

En 1881, la proportion est un peu plus forte : le tableau suivant montre ce qu'elle est, et en même temps la proportion relative de minerai d'or et de matière stérile (amphibole et grenat) sortant de la mine :

MOIS DE 1881.	SORTI de la mine.	ENVOYÉ aux bocards.	REJETÉ.
Août	1.599	1.505	94
Septembre.	1.747	1.408	339
Octobre	1.634	1.409	225
Novembre.	1.555	1.545	10

Il est permis de déduire de ce tableau que la proportion

de matière rejetée dépend un peu de la quantité totale extraite; la capacité de production des bocards restant à peu près constante, on leur fait broyer un peu plus de stérile quand la quantité totale de matière extraite diminue.

Les toiles de bocards sont placées à $0^m,40$ au-dessus du fond des auges, elles ont 40 trous par $0^m,000675$ de surface.

La matière réduite en poudre qui sort de ces bocards est lavée sur des tables dormantes; leur construction est la même qu'à Morro-Velho, la manière d'y recueillir l'or sur des toiles est la même; ainsi, il y a devant chaque bocard deux tables à la suite l'une de l'autre, ayant chacune une inclinaison de 1/6 et une longueur de $4^m,27$. La lavée qui sort de la première table passe immédiatement sur la seconde, puis à la sortie de la seconde laisse déposer dans des bassins une partie des matières en suspension et enfin va se perdre à la rivière. Les matières arrêtées dans ces bassins de dépôt y sont conservées en vue d'un avenir plus ou moins éloigné; pour le moment, on ne s'en occupe pas. Quant à l'existence de deux tables devant chaque bocard, elle est récente; autrefois, il y a quatre ans seulement, il n'y avait qu'une seule table de $4^m,27$ de long devant chaque flèche; on a fini par s'apercevoir que cette longueur de table, surtout pour une matière qui n'était soumise à aucun traitement ultérieur, était insuffisante, d'où la construction des secondes tables. Leur nécessité ne faisait aucun doute, cela est si vrai que l'augmentation de rendement due à ces tables a été à l'augmentation de dépense dans le rapport de 10 à 1.

Le sable recueilli sur les tables dormantes va à l'amalgamation, qui se fait comme à Morro-Velho, mais avec deux barils seulement. C'est, on le voit, la préparation mécanique réduite à sa plus simple expression.

La proportion de matière à amalgamer est indiquée par le tableau suivant :

MOIS DE 1881.	TONNES broyées.	PIEDS CUBES (pieds anglais de $0^m,304$) de sable riche *humide* envoyé aux barils.
Août	1.476	840
Septembre	1.413	820
Octobre	1.426	800
Novembre	1.536	860

L'amalgame, comme à Morro-Velho, est séparé par dissolution dans le mercure, et avec le même appareil; ce qui s'échappe est lavé et laisse : 1° un peu d'amalgame que l'on réunit à celui qui est obtenu par filtration; 2° des sables riches qui retournent à l'amalgamation; 3° des sables plus pauvres qui sont traités comme ceux qui sortent des bocards.

Quant aux résultats, il est beaucoup plus difficile de les indiquer ici qu'à Morro-Velho, et l'on en est un peu réduit à des hypothèses; ici, en effet, le travail n'est pas, comme là, contrôlé continuellement au moyen d'un grand nombre d'essais. En fait, les 1.105 tonnes broyées en novembre 1880 ont produit 14.343 grammes, soit $12^{gr},98$ par tonne. Vers la fin de 1879, quand tous les bocards n'avaient pas encore leurs doubles tables, ce rendement était d'un peu moins de $12^{gr},5$ par tonne. Mais quelle est la richesse du minerai? Il est, je l'ai dit, presque identique au minerai de Morro-Velho; si la richesse moyenne était la même, cela ferait une perte de près de 60 p. 100.

Des essais faits au laboratoire m'ont donné des teneurs de 40 grammes et au-dessus, mais il s'agissait là d'échantillons choisis, qui ne peuvent représenter la richesse réelle.

L'indication la plus exacte serait peut-être fournie par ce fait qu'à Morro-Velho, si l'on veut se reporter aux indications numériques que j'ai données, on retire sur les

premières tables 70 p. 100 environ de l'or contenu. Le travail y est plus soigné qu'à Pary, les tables plus longues, le sable broyé plus fin, le rendement par suite meilleur. Je pense, partant de là, que la perte d'or à Pary peut être estimée à 40 p. 100 environ de l'or contenu, perte considérable et qui pourrait certainement être réduite, puisqu'il s'agit d'un minerai tout à fait analogue à celui de Morro-Velho, et qui ne présente pas, par suite, de difficultés plus grandes pour le traitement.

Je dois dire, du reste, qu'on est à Pary considérablement gêné par la pénurie d'eau et le manque de hauteur de chute ; on y utilise quelques petits ruisseaux, affluents de la rivière de San-Francisco, et les différents ateliers sont tous au même niveau, sur la rive gauche de la rivière, la mine étant sur la rive droite. Et cependant, malgré ce faible rendement, malgré la défectuosité des moteurs d'extraction ou d'épuisement, les résultats obtenus ont été jusqu'ici assez satisfaisants pour engager la compagnie à décider l'exécution d'un canal de dérivation d'une partie des eaux de la rivière ; ce canal, qui aura plus de 12 kilomètres de développement, amènera à une hauteur suffisante la quantité d'eau nécessaire aux services de l'extraction et de l'épuisement et à une préparation mécanique plus complète.

Un pareil travail ne peut être que fort dispendieux et constitue une œuvre considérable pour une entreprise qui ne produit, en somme, que 175 à 200 kilogrammes d'or par an ; c'est justement pour ce motif qu'on peut, je pense, conclure que, malgré le faible rendement du minerai, les résultats pécuniaires doivent être déjà satisfaisants.

Comme à Morro-Velho, un grand nombre des travailleurs de Pary sont esclaves.

Exploitation de Morro-de-Santa-Anna. — Les deux exploitations que nous venons d'étudier portent l'une et

l'autre sur un minerai de pyrite aurifère. A Morro-de-Santa-Anna, la compagnie Don Pedro North del Rey exploite un gisement de *jacutinga* friable, mélange de fer oligiste et quartz friable presque pulvérulent, au point que le minerai qui sort de la mine ne contient qu'une très faible proportion de matière assez solidement agglomérée pour qu'il soit nécessaire de la broyer.

L'or y est disséminé irrégulièrement. Il est en paillettes, parfois même en assez grosses pépites. Il paraît s'y rencontrer en veines (ce qu'on appelle ici en *lignes*), parfois d'une extrême richesse, mais en général disparaissant vite. Je n'ai pas connaissance que jusqu'ici aucune règle ait été suivie pour l'exploitation, qui se réduit à la recherche au hasard de ces veines riches. Le seul guide est la battée : tous les jours, à diverses reprises, on ramène des fronts de taille de petits sacs de minerai qui sont immédiatement essayés à la battée, et on sait ainsi si l'on se trouve dans une partie riche ou non : si oui, on la suit comme l'on peut, toujours en s'aidant des résultats fournis par la battée, et, disent les mineurs, de quelques caractères douteux tirés de la présence d'un peu de lithomarge et de l'aspect plus ou moins brillant du minerai. Ces travaux se font au moyen de deux ou trois galeries, dont les extrémités constituent les fronts de taille d'abatage, qui se poursuivent dans une direction arbitraire, avec quelques essais de temps à autre à droite et à gauche, et qui s'efforcent de suivre *la ligne*, quand par accident on la rencontre. On dirait les bras d'un homme qui cherche à tâtons quelque objet dans l'obscurité.

Ces travaux sont, au reste, difficiles : la masse de jacutinga au milieu de laquelle ils s'exécutent ne présente aucune consistance et nécessite un soutènement soigné et coûteux : on l'obtient au moyen de cadres presque jointifs, cadres magnifiques faits de bois grossièrement équarris avec des sections qui vont jusqu'à $0^m,30$ et $0^m,40$ de

côté ; en arrière, un garnissage en planches épaisses ; le tout dans des galeries à très grande section. Au front de taille, on est souvent obligé de pousser le garnissage avant d'abattre le minerai.

La venue d'eau est considérable, et comme, d'autre part, l'eau motrice est rare dans les environs, il y a de ce fait une autre difficulté.

Malgré la dépense qu'entraîne le travail dans ces conditions, l'exploitation s'est poursuivie avec des fortunes très diverses, présentant des périodes extraordinairement brillantes pendant lesquelles les résultats obtenus sont hors de toute comparaison avec ce que peut donner un minerai comme celui de Morro-Velho, par exemple, suivies de périodes de rendement nul.

Actuellement, on en est à une période de crise, mais ce fâcheux résultat ne peut pas être attribué à l'irrégularité de richesse du minerai, et ne démontre rien contre la valeur de la mine. Je vais en dire les raisons.

La plus grande difficulté à Morro-de-Santa-Anna est celle de l'épuisement. La pompe était anciennement actionnée par une roue en bois ; cette roue étant devenue insuffisante avec l'accroissement de profondeur, il fallut trouver un autre moteur. On disposait d'un faible volume d'eau, mais d'une grande hauteur de chute ; on imagina alors d'employer comme moteur une grande roue en fer de 18m,50 de diamètre et de 1m,40 seulement de largeur ; elle débite 120 litres par seconde.

On pénètre dans la mine par une longue galerie horizontale à la suite de laquelle on trouve deux galeries inclinées à 27° environ sur l'horizontale, dont les extrémités, qui communiquent entre elles, forment les fronts de taille.

Les tiges de pompes sont installées dans une de ces galeries et chargées de façon à pouvoir refouler l'eau ; elles ont une longueur de 70 mètres.

De la roue, située assez loin en contre-bas de l'entrée, le

mouvement était communiqué aux pompes par l'intermédiaire d'un va-et-vient en fer, montant, de la roue à l'entrée de la mine, avec une pente de 1/6 environ, puis filant horizontalement dans la galerie jusqu'à la tête des tiges. Quelques chiffres vont donner une idée du système.

La tige qui forme le va-et-vient est en fer; sa section est circulaire, et le diamètre, de 0^m,083 à une extrémité, est de 0^m,075 à l'autre. La longueur depuis la roue jusqu'au joint près de l'entrée, où elle devient horizontale et où il a fallu installer un V, est de 335 mètres; de là jusqu'à la tête des tiges de pompe, la longueur est de 440 mètres. Le poids total de cette tige est de 45 tonnes. Il y faut joindre le poids de la roue, le poids de tous les galets de soutien de la tige, lesquels sont en fonte et ont des dimensions à peu près égales à celles des roues de wagons de chemin de fer; le tout est venu d'Angleterre, et n'a pu payer, pour le seul transport de Rio à Morro-de-Santa-Anna, moins de 650 à 700 francs par tonne. On peut par là, en ajoutant les prix d'achat, de pose, etc., se faire une idée du coût de l'installation.

Or l'axe était-il trop faible, les bras mal attachés, ou est-ce à cause de l'extrême étroitesse de la roue? Toujours est-il que l'on s'aperçut rapidement que l'arbre fléchissait et que les bras jouaient. Les petites fabriques de fer que l'on sait étaient loin de pouvoir fournir des ressources pour des réparations de cette importance : force fut, après quelques tentatives de réparation, d'arrêter la roue : elle n'avait peut-être pas travaillé une année entière. A la suite de cet arrêt, la mine fut noyée; elle l'est encore, et depuis plus de dix-huit mois.

On essaya, pour remplacer la roue, une machine à vapeur chauffée avec du bois; cette machine mettait en mouvement deux pompes foulantes qui refoulaient de l'eau dans un accumulateur à une pression de 50 à 60 atmosphères; de là cette eau allait agir dans une machine à colonne d'eau

attelée sur les tiges de pompe, la grande roue étant dételée. Le tout est installé à l'entrée de la mine : la distance entre la machine à vapeur et l'accumulateur peut être de 4 à 5 mètres, et entre l'accumulateur et la machine à colonne d'eau de 5 à 6 mètres. Je renonce, pour ma part, à comprendre et par suite à expliquer cette combinaison.

Au reste, la machine, mise en marche, épuisa à peu près à mi-hauteur : puis tout ce qu'elle put faire fut de maintenir en ce point le niveau constant. En ce moment, on remplace les pompes foulantes par deux autres pouvant fournir un volume double et avec lesquelles on espère arriver à revoir enfin le fond des travaux.

Je ne suis entré dans tous ces détails que pour bien faire comprendre que, si l'entreprise échoue définitivement, la faute en sera bien plus imputable à la direction qu'à la nature même du minerai. J'ajouterai que la mine serait susceptible d'être asséchée par une galerie d'écoulement, longue il est vrai, mais nullement inabordable pour qui était décidé aux sacrifices pécuniaires que l'on vient de voir.

Quoi qu'il en soit, quand la mine était dénoyée et travaillait, l'extraction était faite par un manège à mulets. Les deux câbles, filant sur galets dans la galerie horizontale, allaient conduire dans les deux galeries inclinées deux petits chariots. Ces chariots n'étaient jamais dételés : en haut, ils étaient vidés sur le sol de la galerie. Le minerai, rechargé à la main dans de nouveaux wagons, était conduit au jour par des mulets traînant un wagon à chaque voyage.

Ici commençait le traitement qui, portant sur un minerai tout différent de ceux que nous avons rencontrés jusqu'ici, mérite de nous arrêter. Le minerai est, je l'ai dit, pulvérulent et ne contient qu'une faible proportion de rognons pierreux. Dans la mine, il est abattu à la pioche. On le jette sur une grille à barreaux de fer, où l'on sépare

les parties pierreuses : celles-ci vont se faire broyer sous les bocards.

Le fin qui a traversé la grille passe dans deux trommels cylindriques ayant chacun trois toiles (*a*, *b*, *c* — *d*, *e*, *f*). Les trous des toiles sont carrés et ont respectivement 13 millim. — $9^{mm},5$ — $6^{mm},3$ — $3^{mm},2$ — $1^{mm},6$ — $0^{mm},80$. A la suite, le plus fin passe dans trois caisses pointues *g*, *h*, *i*.

Les matières classées aux deux trommels sont traitées dans des cribles à piston : les grosses paillettes d'or restent sur la grille, qui est nettoyée tous les deux mois; les pierres n'ayant que pas ou peu d'or s'écoulent aux bocards.

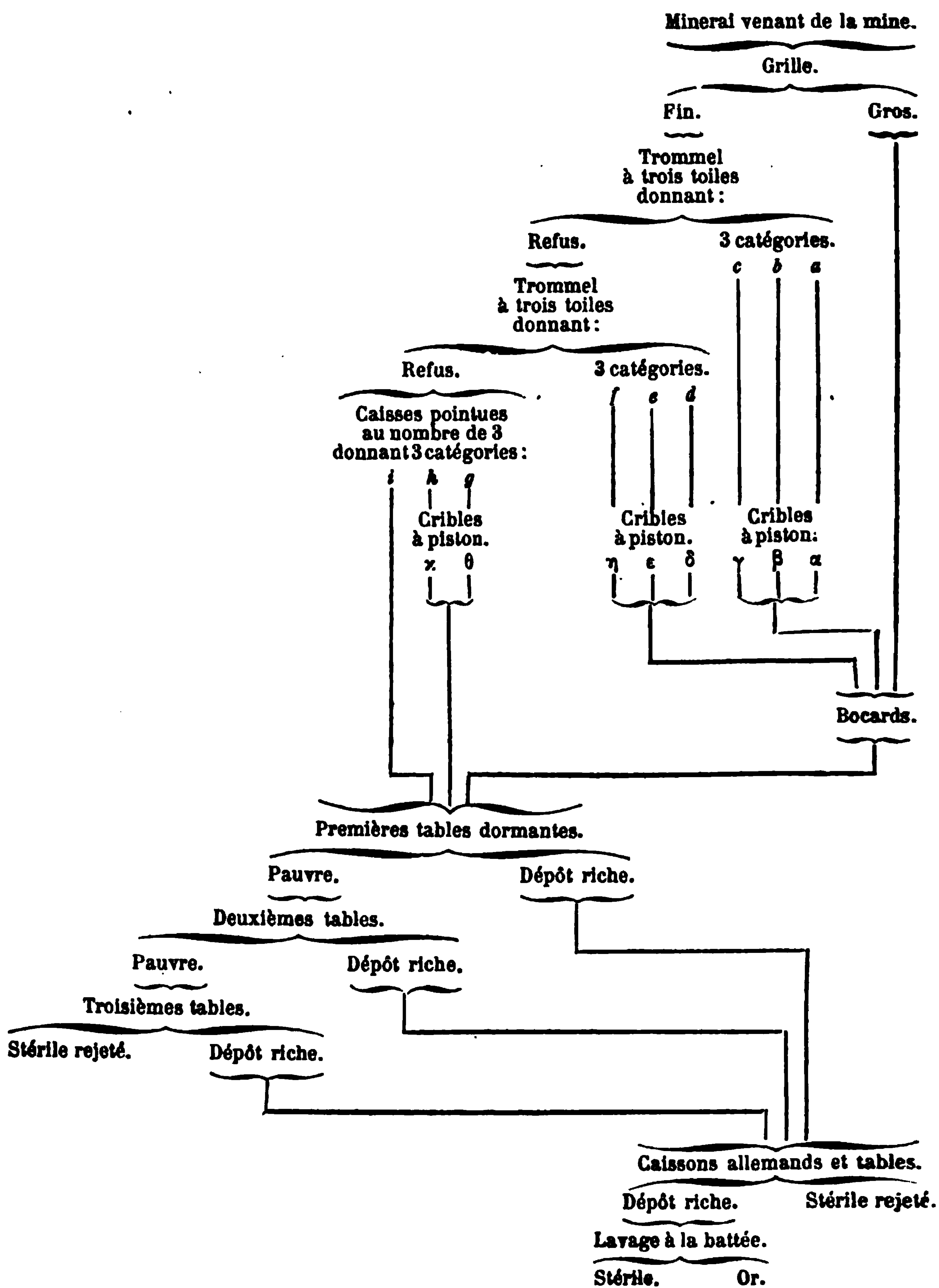
Les deux caisses *g* et *h* sont percées par le fond; ce qui s'en écoule constamment passe à deux cribles à piston θ et κ : un peu de matière peut ici filtrer : le plus lourd tombe alors au fond de la caisse, le plus léger s'écoule hors des cribles. Tout le reste de la lavée, ne contenant plus que des matières très fines, coule par le fond de la caisse *i*.

La lavée qui s'écoule de *i*, celle qui s'écoule des cribles θ et κ, celle qui provient des bocards, sont traitées parallèlement, mais séparément, sur des tables dormantes garnies de toiles. Les tables ont une inclinaison de 1/6, une largeur de $0^{m},45$, et une longueur de $8^{m},50$.

Toute la lavée qui échappe à ces premières tables passe sur les secondes, de là sur les troisièmes, et ce qui s'échappe de ces dernières est définitivement abandonné.

Quant au sable enrichi recueilli sur les diverses tables, il est traité de nouveau par deux passages sur des caissons allemands suivis de tables dormantes : la lavée, peu abondante du reste, qui s'écoule de ces dernières tables, est perdue. Quant à la matière enrichie qui s'y dépose, elle est enfin lavée à la battée. Des laveuses habiles arrivent à séparer à peu près complètement l'or et le fer oligiste : cet or est réuni à celui que l'on recueille sur les grilles des cribles à secousses et expédié en cet état sans être fondu.

Tableau de la préparation mécanique à Morro-de-Santa-Anna.



Je donne ici, comme je l'ai fait pour Morro-Velho, un tableau résumant cette préparation mécanique.

Il est impossible, vu l'intermittence des travaux durant ces dernières années, de donner quelque indication que ce soit sur la quantité de matière traitée.

Quant au rendement, ici non plus le travail n'est pas contrôlé par des essais : dans ces dernières années, avec du minerai qui n'était ni riche ni pauvre, on retirait moyennement d'une tonne de 14 à 15 grammes d'or. Combien perd-on? extrêmement peu, je crois : tout d'abord, l'or étant en paillettes et non plus en grains d'une extrême ténuité, la préparation est plus facile. On a vu que cette préparation était conduite d'un façon plus rationnelle que les précédentes, et comme elle est plus facile, il y a grande probabilité qu'elle perd moins; mais une observation plus concluante peut-être confirme cette manière de voir : on rencontre un peu partout, le long des rivières de la région aurifère, des travailleurs isolés qui, munis d'une battée, cherchent, pour leur compte, de l'or dans les sables, et qui naturellement préfèrent les parties de la rivière qui sont immédiatement au-dessous de quelque exploitation où l'on manipule du minerai et où l'on perd de l'or : ce sont des *faiscadores*. Ils sont assez nombreux sur la rivière même qui passe à Morro-de-Santa-Anna, mais à quelques lieues au-dessous de ce point après que la rivière à reçu les eaux d'une petite exploitation située en aval de celle-ci. Immédiatement au-dessous de Morro-de-Santa-Anna, ils sont au contraire fort rares.

A Pary, où la perte est énorme, on ne rencontre pas non plus de ces *faiscadores* en aval; mais ici cela tient à ce que la rivière, beaucoup plus considérable, se prêterait mal à ce travail.

Quant à Morro-Velho, des habitants du village voisin de Congonhas ont organisé, au-dessous de la sortie même de la

concession, des appareils de lavage où ils traitent les eaux qui s'écoulent de Morro-Velho après avoir abandonné à la Praïa un dernier dépôt, et s'ils ne font pas fortune, du moins obtiennent-ils la rémunération de leur travail.

On le voit, il résulte de là une grande probabilité que la préparation mécanique de Morro-de-Santa-Anna ne laisse perdre que fort peu d'or.

J'ajouterai enfin qu'il faut à Morro-de-Santa-Anna extraire et traiter par jour, quand on peut travailler, au moins 25 à 30 tonnes de minerai, rendant 14 à 15 grammes par tonne, pour faire face aux frais.

On peut toutefois reprocher à cette préparation un excès de travail dû à de nombreux relèvements de matière faits à bras et un procédé d'extraction final de l'or, probablement plus coûteux que ne le serait l'amalgamation, ici surtout où, avec un minerai qui ne contient pas de pyrite, on pourrait employer les moulins américains.

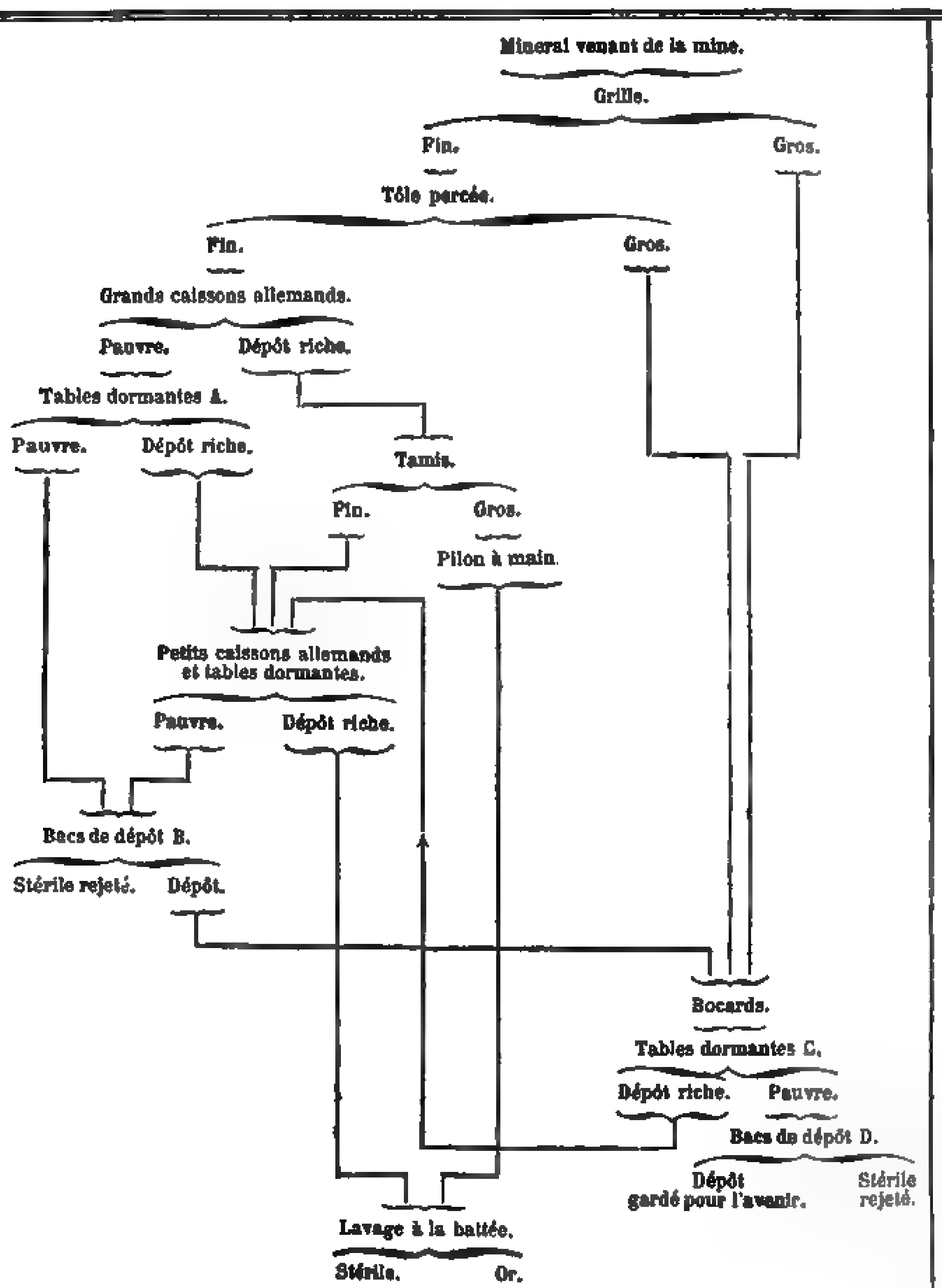
Ces trois exploitations sont de beaucoup les plus importantes de la province; il faut en signaler pourtant d'autres, plus récentes, comme par exemple celle de Pitanguy, établie ou plutôt reprise dans la jacutinga il y a environ deux ans déjà, celles de Passagem et de Raposos, commençant actuellement pour le compte d'une compagnie française, ces dernières dans des minerais pyriteux.

Exploitation de Pitanguy. — L'exploitation de Pitanguy est trop nouvelle encore pour qu'il soit possible d'en apprécier les résultats : je me contenterai d'indiquer rapidement la marche suivie pour la préparation mécanique; le minerai est analogue à celui de Morro-de-Santa-Anna; il en est de même du traitement.

Le minerai arrivant de la mine passe sur une grille, puis sur une tôle percée de trous, qui sépare le gros, lequel est envoyé aux bocards.

Ce qui a passé constitue une matière analogue à celle qui,

Tableau de la préparation mécanique de la jacutinga aurifère à Pitanguy.



à Morro-de-Santa-Anna, va aux trommels. Au lieu de cela, on l'envoie ici sur des caissons allemands; la lavée coule ensuite sur des tables dormantes A, et enfin à travers des bacs de dépôts B. Ce qui s'échappe est abandonné.

Le gros qui passe aux bocards y est broyé avec les matières déposées dans les bacs de dépôt B; le sable produit s'écoule sur des tables dormantes C; ce qui s'en échappe dépose en D les parties les plus grosses et les plus lourdes et est ensuite rejeté. Les dépôts D, gardés pour une époque à venir, ne rentrent pas actuellement dans le traitement.

Parmi les matières déposées sur les grands caissons allemands, il en est d'assez grosses encore; aussi ces matières sont-elles tamisées; le gros est envoyé à un pilon à main et de là à la battée.

Le fin, réuni aux dépôts des tables dormantes A et C, passe dans des caissons allemands de petite dimension, suivis de tables dormantes; il se fait là un enrichissement tout à fait semblable à celui qu'on produit à Morro-de-Santa-Anna, avant le lavage à la battée, sur des matières qui avaient d'abord été traitées un peu différemment.

La lavée qui s'échappe de ces derniers appareils traverse les bacs de dépôt B. Les matières déposées sont enlevées pour être soumises au lavage à la battée, qui en extrait l'or.

On le voit, le traitement est sinon semblable, du moins analogue. L'ensemble en est réuni dans le tableau ci-contre (p. 169).

Considérations générales. — On voit par ce qui précède que, quoique les gisements d'or dans les filons de quartz soient fort nombreux, aucun ne fait l'objet, pour l'instant du moins, d'une exploitation importante; ils ne donnent lieu qu'à des travaux conduits petitement, presque sans ressources.

J'en citerai cependant un exemple, non pas à cause de

son importance, mais à cause de son originalité ; c'est celui de l'exploitation entreprise près du sommet de l'Itacolumy de Marianna, au-dessus de Sumidouro.

Il s'agit là d'un gisement qui paraît produit par l'éparpillement d'un filon de quartz en petites veinules rapprochées au milieu d'un terrain de schiste argileux. Les petites veines de quartz, comme il arrive fréquemment dans ces terrains, sont formées de morceaux de quartz détachés les uns des autres ; au contact l'argile est aurifère. Les travaux déjà exécutés ont produit une tranchée ; les trois nègres qui constituent, sous la direction d'un surveillant, tout le personnel de l'exploitation, passent leur journée à détacher à la pince et à faire tomber au fond de la tranchée des blocs de terre. Vers quatre heures du soir, on ouvre la vanne d'un réservoir situé à un niveau un peu supérieur, et qui, pendant vingt-quatre heures, s'est empli de façon à pouvoir, durant une demi-heure à trois quarts d'heure, fournir un courant d'eau énergique ; ce courant d'eau passe au fond de la tranchée sur les blocs de terre détachés dans la journée, et dont les ouvriers facilitent la désagrégation en les piétinant sous l'eau. Le courant est rapide ; il enlève l'argile et les pierres, traverse un canal peu incliné et va ensuite s'écouler en liberté sur le flanc de la montagne. Dans le canal, il a déposé les matières les plus lourdes ; on consacre alors chaque année un mois environ à recueillir et laver à la battée ces dépôts, et on en tire assez d'or pour rétribuer convenablement le travail des trois nègres, qui ont ainsi travaillé l'année entière. Et pourtant, combien n'en perd-on pas, ne serait-ce que du fait de ne pas recueillir pour les broyer tous les morceaux de quartz aurifère qui sont abandonnés ?

Les mêmes nègres, qui sont esclaves, mais peuvent le dimanche travailler pour leur compte, broient parfois ce jour-là, à la main, un peu de ce quartz et y trouvent profit. Indépendamment de cette cause de perte, l'existence de

nombreux *faiscadores* en aval de cette mine, prouve qu'il y a une part notable d'or entraînée.

Mais cependant, si imparfait qu'il soit, ce procédé d'exploitation m'a paru avoir quelque intérêt ; on y pourrait, ce me semble, trouver un rudiment des méthodes hydrauliques aujourd'hui pratiquées en Californie. Il n'en est pas moins vrai que cela ne constitue pas une exploitation sérieuse.

Ce fait que les gisements de quartz sont ainsi laissés de côté n'a rien de bien surprenant ; s'ils peuvent en certains points donner des résultats brillants, d'autre part ils sont fort irréguliers comme richesse ; c'est une propriété commune avec les gisements de jacutinga, mais du moins ces derniers ont-ils l'avantage d'être formés d'une matière friable. Ils n'ont pas la constance de richesse des gisements de pyrite, mais ils en ont la dureté ; ils participent des défauts des deux autres gisements, et sont dès lors plus mauvais que les uns et que les autres. Leur mise en exploitation aura, je pense, toujours quelque chose de hasardeux, et comme elle exigera des frais considérables, je la crois de toute façon peu recommandable.

Pour les gisements de pyrite, l'exemple de Morro-Velho est tout à fait instructif. Il y a là, à dire vrai, une véritable accumulation de difficultés dues à une très grande profondeur, à un minerai dur à détacher et à broyer, à une préparation mécanique rendue tout particulièrement difficile par l'extrême finesse de l'or et la grande densité de la gangue, enfin à ce fait que la richesse est plutôt faible. Tout autre gisement de même catégorie participera, lui aussi, des difficultés dues à la nature du minerai, mais du moins pendant une longue période n'aura pas à supporter les grosses dépenses d'une exploitation à grande profondeur.

Or, de l'étude que j'ai faite de l'exploitation de Morro-Velho, il est résulté que la dépense totale d'extraction et de traitement de la tonne de minerai s'élève à environ 44 francs

et j'ai fait voir qu'il était au moins vraisemblable que ces frais pourraient être un peu diminués, ou le rendement un peu augmenté.

A Pary, où chaque tonne rend sensiblement 39 à 40 francs, on doit couvrir et bien au delà les dépenses diverses, à en juger par le cours des actions de la compagnie.

J'estime dès lors que des minerais de cette nature, tenant à la tonne une valeur minimum de 40 à 45 francs de métaux précieux, et devant rendre par un traitement régulier aux environs de 35 francs, peuvent déjà être exploités, à condition que le gisement ne se présente pas dans des conditions qui en rendent l'exploitation particulièrement difficile. La limite inférieure de richesse exploitable ne doit pas s'éloigner sensiblement de ce chiffre. Encore faut-il, à ces teneurs et même aux teneurs un peu supérieures, que le gisement soit assez puissant pour permettre une extraction considérable. Mais du moins, comme il s'agit de minerai de richesse fort régulière, peut-on s'outiller avec toute certitude pour une production déterminée; l'on n'aurait de mécompte que si le gisement lui-même devenait irrégulier ou disparaissait; aussi, je pense que chaque fois que l'on aura des motifs sérieux de croire à la régularité d'allure d'un de ces gisements, l'exploitation en peut être entreprise en toute certitude.

Il n'est plus permis d'être aussi affirmatif pour les gisements d'itabirites ou jacutinga, surtout si l'exploitation en doit être faite comme à Morro-de-Santa-Anna par les procédés ordinaires; il reste alors en effet une assez grande incertitude sur la répartition des parties aurifères ou stériles. Mais un gisement comme celui de Morro-de-Santa-Anna, par sa nature propre, se prêterait admirablement à une exploitation hydraulique par les procédés employés en Californie; il s'y prêterait même mieux que les gisements californiens. En effet, le minerai est essentiellement friable, et ne donnerait pas lieu à l'emploi de grandes quantités de

poudre; il ne fournit pas de grosses pierres, qu'il faut enlever par un courant d'eau très rapide qui augmente les chances de perte d'or. Il n'y a plus lieu alors de s'inquiéter outre mesure des parties stériles, car dans son ensemble la roche à abattre sera, je crois, plus riche en moyenne que celle de bien des gisements exploités en Californie. A Morro-de-Santa-Anna même l'application de ces procédés était impraticable par suite du manque d'eau et du manque de chute pour l'enlèvement des matières. Mais les gisements de jacutinga aurifères sont fort nombreux, et je n'hésite pas à croire que, là où la disposition des lieux s'y prêterait, une pareille exploitation pourrait être très fructueuse.

Une exploitation hydraulique a été tentée, il est vrai, dernièrement aux environs de la ville du Serro, avec un insuccès absolu. Ce résultat négatif n'infirme en rien ce que j'avance, car tout d'abord il ne s'agissait pas là d'un gisement de jacutinga, et de plus, on s'aperçut, une fois tous les préparatifs faits, que le terrain à exploiter ne contenait pas d'or du tout, fait qu'il aurait été prudent de vérifier à l'avance.

Les quelques critiques que j'ai pu faire, au cours de cette étude, sur certains des procédés actuellement mis en œuvre ne partent nullement d'un vain désir de dénigrement. J'ai seulement désiré montrer, comme je le disais en commençant, que la décadence relative de l'exploitation de l'or dans la province, de même que certains insuccès, ne devaient être attribués ni à la disparition, ni à l'épuisement des gisements. D'autres, au surplus, l'ont pensé comme moi, puisqu'il se manifeste en ce moment même un réel mouvement de reprise.

J'indiquerai pour terminer, d'après une statistique insérée dans la première livraison des *Annales de l'École des mines d'Ouro-Preto*, quelle était, en 1879, la production probable de l'or dans la province de Minas. En dehors de

l'or produit par les grandes exploitations, les *faiscadores* tirent une certaine quantité d'or en poudre, dont ils se servent pour leurs achats, et qui se réunit entre les mains de quelques négociants pour être expédié à Rio-de-Janeiro. C'est à ce titre que l'or fondu à la monnaie de Rio figure dans ce tableau.

Il y figure aussi une certaine quantité d'or produit par une compagnie brésilienne, qui avait commencé une exploitation près d'Itabira dans les itabirites. Cette compagnie a suspendu ses travaux. L'absence de compagnies brésiliennes en activité, le peu de succès de celles qui cherchent à commencer des travaux doivent, à mon sens, s'expliquer par la répugnance qu'ont encore aujourd'hui les habitants de la province à consentir à des dépenses considérables et prolongées, qui ne doivent trouver leur rémunération que dans un avenir assez éloigné ; à l'économie excessive durant les premiers travaux, qui résulte de cette tendance d'esprit; au découragement qui s'empare d'eux si les résultats ne sont pas immédiats.

Voici ce tableau :

	kil. gr.
Morro-Velho et Cuyaba (Compagnie S.-Juan-d'el-Rey).	1.511,130
Pary (Compagnie de Santa-Barbara)	177,296
Morro-de-Santa-Anna (Don-Pedro-North-d'el-Rey Co).	39,786
Itabira (Compagnie brésilienne)	5,517
Or fondu à la monnaie de Rio	90,392
	1.824,121

En tenant compte de ce qui échappe forcément à toute statistique, du fait des *faiscadores*, je pense qu'il n'y a nulle exagération à porter à 2.000 kilogrammes en moyenne production annuelle de la province.

PLOMB.

En l'état actuel, les gisements de plomb qui peuvent exister dans la province de Minas n'ont, en tant que plomb,

qu'une importance insignifiante, sinon nulle, mais ils prennent quelque importance s'ils sont suffisamment argentifères, ils peuvent en prendre surtout s'ils sont voisins d'exploitations de minerais d'or, au point de vue de leur utilisation possible pour l'extraction de l'or par fonte plombeuse. C'est pour ces divers motifs que quelques indications sur les gisements de plomb actuellement connus peuvent présenter de l'intérêt.

Les gisements connus dans la province sont actuellement au nombre de trois. Les plus importants sont ceux de l'Abaïté.

Ces gisements de l'Abaïté furent découverts en 1777 ou 1778 par les chercheurs de diamants; ils furent visités en 1812 par Eschwege : on peut lire l'histoire de son voyage dans son ouvrage *Plato Brasiliensis.* En 1825, de Monlevade, nouvellement arrivé de France et qui n'avait pas encore entrepris la création de sa forge, y fut envoyé par le gouvernement provincial. Il est, je crois, impossible de trouver aujourd'hui aucun exemplaire du mémoire qu'il publia à la suite de ce voyage; il fit construire sur place un fourneau qui produisit une certaine quantité de plomb d'œuvre, celui-ci fut apporté à Ouro-Preto et y fut coupellé, puis les gisements de l'Abaïté retombèrent dans l'oubli.

Enfin, en 1879, Francisco de Paula Oliveira, alors élève à l'école des mines d'Ouro-Preto, fut envoyé à l'Abaïté en voyage de fin d'études. Des renseignements qu'il rapporta et qui sont exposés avec détail dans un mémoire de lui, publié dans la première livraison des *Annales de l'École des mines d'Ouro-Preto*, il résulte qu'il existe deux filons de galène à gangue de calcaire, de faible épaisseur ($0^m,06$ à $0^m,08$ chacun), qui paraissent devoir se réunir à une faible profondeur. Le plomb qu'on en retire est riche en argent : divers essais faits au laboratoire de l'école d'Ouro-Preto sur des échantillons rapportés par M. d'Oliveira, accusent

pour le plomb d'œuvre des richesses en argent variant entre 150 et 235 grammes par 100 kilog. de plomb d'œuvre.

A la suite de ce voyage, M. d'Oliveira et un de ses camarades, M. Chrispiniano Torares, ont réussi à organiser une compagnie pour l'exploitation de ce gisement. La main-d'œuvre est à très bon marché dans la région, la société a obtenu la concession de terrains boisés et étendus appartenant à l'État et aura par suite le charbon à bon compte. On ne peut guère, actuellement, songer au transport du plomb, et tout au plus pourra-t-il s'en vendre un peu à l'état de plomb de chasse (tout le monde est chasseur dans ces déserts), mais du moins l'argent peut encore payer les frais de transport qui peuvent être en moyenne, des mines au chemin de fer à Barbacena, de 500 francs par tonne. L'entreprise se présente donc avec quelques chances de succès; elle témoigne de la part de ses organisateurs d'une initiative hardie; ce sera, je crois, la première tentative d'exploitation de minerais de plomb, j'espère qu'elle sera couronnée de succès.

Le second gisement, également formé de galène, existe aux environs de Diamantina. Dans un voyage trop rapide à Diamantina, je n'ai pu aller le visiter, et ne le connais que par les échantillons venus à l'École des mines d'Ouro-Preto. La gangue est de quartz, un essai y a indiqué 303 grammes d'argent par tonne de plomb d'œuvre. Il m'a été affirmé, par une personne digne de foi et absolument compétente, que certains échantillons de ce minerai présentaient de l'or visible; pour peu qu'il y ait de l'or, on pourrait à coup sûr l'extraire plus complètement par coupellation qu'on ne fait généralement par préparation mécanique; en outre, ce filon se trouve dans une région où les gisements d'or dans le quartz sont assez abondants; il peut donc sous ce rapport présenter quelque intérêt. Il est juste d'ajouter que la séparation de l'or et du quartz est facile mécaniquement, d'au-

tant plus que dans cette catégorie de gisements l'or existe toujours en assez grosses paillettes, aussi n'est-ce pas pour le traitement de ces sortes de minerais que l'introduction de matière plombeuse pourrait présenter le plus d'avantage, mais bien pour le traitement des minerais d'or pyriteux.

A ce point de vue, c'est à coup sûr le troisième des gisements de galène dont je connais l'existence qui présente le plus d'intérêt. Malheureusement, je ne puis donner sur lui que des indications fort incomplètes. Les affleurements en ont été découverts pendant une excursion faite avec les élèves de l'école, aux environs de Sumidouro, près de cette mine d'or exploitée en haut de l'Itacolumy de Marianna, par un procédé curieux que j'ai décrit plus haut. Le terrain est couvert de végétation, et il n'a été possible de voir ces affleurements que dans le lit d'un petit ruisseau et dans des conditions trop insuffisantes pour permettre une détermination même approximative des éléments du filon. Quelques échantillons ont cependant été recueillis et un essai fait au laboratoire de l'École d'Ouro-Preto sur une assez grande quantité de minerai (693 grammes enrichis par préparation mécanique et ayant laissé 73 grammes à soumettre à l'essai), a accusé une richesse en plomb de 7 p. 100 et une quantité de 105 grammes d'argent et 9 grammes d'or par 100 kilog. de plomb d'œuvre. Rien absolument n'autorise à croire qu'une pareille richesse en métaux précieux, en or surtout, soit constante; le point où ont été recueillis ces échantillons appartient à une ancienne exploitation d'or faite à ciel ouvert, aujourd'hui abandonnée, peut-être par suite à un point de croisement de quelque filon aurifère, quoique l'or ne soit pas visible dans ce minerai. Mais en premier lieu, une richesse même beaucoup moindre pourrait encore permettre une exploitation rémunératrice; en second lieu, et surtout, il m'a paru intéressant de signaler l'existence

de ces gisements de galène dans une région de minerais d'or, au point de vue surtout de l'avantage qu'ils pourraient peut-être présenter pour le traitement de certains minerais pyriteux où l'or est très fin et dont le traitement mécanique est particulièrement difficile, comme par exemple les minerais de Morro-Velho et de Pary.

C'est surtout la distance des gisements et la plus ou moins grande facilité des transports qui pourraient un jour conduire à des essais dans cette voie.

DIAMANT.

Historique de l'exploitation. — A la suite de la découverte des premiers gisements d'or dans la province, les immigrants, arrivant de plus en plus nombreux à la recherche du métal précieux et trouvant les régions des environs d'Ouro-Preto déjà occupées par les premiers venus, durent s'enfoncer plus au nord. C'est ainsi que, vers la fin du XVII[e] siècle, furent découverts les gisements si riches des environs du Serro. De nouveaux venus allèrent plus au nord encore et une bande d'aventuriers vint ainsi s'installer en un point où elle créa le village de Tijuco, aujourd'hui Diamantina. Les gisements étaient riches, la nouvelle s'en répandit et le pays commença à se peupler.

Durant plusieurs années, on exploita avec activité les lits des rivières de la région, mais on n'y recherchait que l'or. Les mineurs, il est vrai, trouvaient souvent, dit la tradition, dans leur battée, des cristaux de forme spéciale, d'un éclat tout particulier, qu'ils conservaient à titre de curiosité, mais sans en soupçonner la valeur. Ce serait un voyageur, passant à Diamantina, qui en aurait enfin reconnu la véritable nature : c'étaient des diamants. Ce n'est peut-être là qu'une fable, elle montre du moins que dans

le pays même on n'est pas fixé sur la date exacte à laquelle furent trouvées les premières pierres; tout ce qu'on en sait, c'est que ce fut en 1729 que le gouvernement portugais fut informé de l'existence de diamants dans les rivières des environs de Tijuco.

Je ne prétends pas refaire ici point par point l'histoire de l'exploitation des diamants; elle a été faite avec de grands détails par le Dr J. Felicio dos Santos, dans un livre fort intéressant : *Memorias do Districto Diamantina du Comarca do Serro do Frio;* je veux seulement en indiquer les traits principaux.

Dès la première nouvelle de la découverte du diamant, le gouvernement de Lisbonne chargea le gouverneur de la Capitania de Minas d'établir un règlement qui permît au fisc de profiter, dans la plus large mesure possible, de cette nouvelle source de richesse. Ce premier règlement fut très doux, comparé à ceux qui suivirent : il supprima tout d'abord sans indemnisation toutes les concessions de mines d'or déjà données, n'autorisa que l'exploitation des diamants, imposa une nouvelle distribution de concessions sans qu'il fût possible à un exploitant de recevoir plus de 12 mètres carrés par tête de travailleur employé, et ordonna un impôt de 28 francs par chaque travailleur.

On en était alors à l'origine, à la période des tâtonnements, les ordres contradictoires se succédaient, provenant de Lisbonne, où les dispositions ci-dessus avaient été jugées peu efficaces; le régime de la capitation n'en continua pas moins durant quelques années, mais la valeur de l'impôt à recevoir par tête de travailleur s'éleva rapidement à 112 francs, puis à 140 francs, et enfin à 224 francs. En 1734, cinq ans à peine après la découverte, le gouvernement, toujours indécis, prit le parti de suspendre toute espèce d'exploitation jusqu'à ce qu'il eût trouvé un régime qui convînt mieux à ses intérêts. Dans l'intervalle, toute extraction, quelle qu'elle soit, fut défendue.

Après d'assez longues hésitations, puisque les travaux ne furent repris qu'en 1739, on se décida enfin à affermer l'exploitation des diamants. Une administration avait été créée à Diamantina, ayant à sa tête un fonctionnaire portant le titre d'*intendant des diamants*, et qui devait veiller à l'application des lois spéciales qui furent édictées pour les terrains diamantifères et à la stricte exécution des contrats signés par les concessionnaires de l'exploitation. Il n'y avait jamais qu'un concessionnaire à la fois, appelé *contratador*, qui pouvait, il est vrai, représenter un nombre quelconque d'associés, mais qui était seul responsable; on lui marquait, à l'origine du contrat, les terrains où il devrait travailler, soit pendant la saison sèche, soit pendant la saison des pluies, et on lui fixait un nombre maximum d'esclaves à employer à ses travaux. Par chaque esclave, il payait un impôt de capitation, que l'esclave travaillât ou non, c'était là le revenu du trésor, et sous aucun prétexte il ne devait occuper un nombre d'hommes supérieur à celui qui avait été ainsi désigné. Il y eut en tout six contrats, dont voici la durée et les conditions principales.

	DATE du commencement du contrat.	NOMBRE de travailleurs imposés.	IMPÔT par tête de travailleur.
1er contrat.	1er janvier 1740.	600	1.288 francs
2e —	— 1744.	600	1.288 —
3e —	— 1748.	600	1.232 —
4e —	— 1753.	600	1.344 —
5e —	— 1759.	600	1.344 —
6e —	Novembre 1761.	600	1.344 —

Le contratador était obligé, sous des peines très sévères, à n'employer que le nombre d'esclaves marqué par son contrat, à ne travailler que dans les terrains désignés au même contrat, à remettre les diamants extraits à Lisbonne, où ils pouvaient seulement être vendus; c'étaient là ses

obligations, l'intendant des diamants était chargé d'en surveiller la stricte observance.

Mais, d'autre part, le contratador avait seul droit d'exploiter : toutes les autres concessions avaient été supprimées, on n'en accordait aucune nouvelle, sauf pour les mines d'or notoirement connues comme n'étant pas diamantifères, intuition purement théorique du reste. Pour assurer l'observation de ces règles, le contratador, dont les intérêts étaient solidaires de ceux du trésor, avait alors dans l'intendant non plus un surveillant, mais un auxiliaire obligé à l'aider à empêcher toute contrebande, en faisant appliquer rigoureusement les règlements qui avaient été édictés dans ce but.

Ces règlements étaient spéciaux à ce qu'on appelait le district des diamants, limité par la loi, occupant à l'origine une étendue de 80 kilomètres sur 50, mais qui fut étendu depuis. En voici les dispositions principales :

Il était interdit à toute personne d'acheter, vendre ou exporter des diamants, sous peine de confiscation des biens et déportation à la côte d'Afrique pour les hommes libres, ou de dix ans de travaux forcés pour les esclaves.

Toute dénonciation, même secrète, serait accueillie par l'administration. Au cas où elle était suivie d'effet, la moitié des biens confisqués appartenait au dénonciateur. Si ce dernier était esclave, il recevait, en outre, sa liberté.

La résidence dans le district était interdite à toute personne ne tirant pas ses moyens d'existence de quelque emploi ou industrie connus, ou de ressources notoires.

Pour entrer dans le district ou en sortir, même temporairement, il fallait une autorisation de l'intendant ; au cas où pareille autorisation était accordée à un négociant, il devait faire connaître à l'entrée la nature et la valeur des marchandises qu'il apportait et montrer à la sortie les valeurs en quantité égale, contre lesquelles sa marchandise avait été échangée.

Les cultivateurs ne pouvaient posséder, en fait d'objets en fer, que ceux qui étaient indispensables à leur culture et en nombre strict.

Personne ne pouvait ouvrir boutique, de quelque nature que ce soit, sans autorisation ; le nombre de ces autorisations était limité ; chaque boutique ne devait avoir avec l'extérieur qu'une seule porte de communication ; celle-ci, bien en évidence, devait être fermée à la nuit tombante et jusqu'au lendemain ne plus être ouverte sous aucun prétexte, à moins de visite domiciliaire que l'autorité pouvait faire à toute heure.

Le contratador qui avait quelque soupçon qu'une personne quelconque faisait de la contrebande, la dénonçait à l'intendant ; ce dernier, information prise, sans avoir besoin du reste, d'acquérir la preuve, pouvait expulser la personne dénoncée.

Au cas où pareille dénonciation était suivie de confiscation, les deux tiers des biens confisqués revenaient au contratador.

Les peines encourues pour contravention au règlement, comme pour la contrebande, variaient de l'expulsion du district à la confiscation des biens avec déportation à la côte d'Afrique. Les mêmes peines devaient, du reste, être appliquées à l'auteur principal et à ses complices. Le tout sous la responsabilité de l'intendant, l'administration diamantine fonctionnant sans le concours d'aucun tribunal et sans appel. L'intendant avait en somme, dans toute l'étendue du terrain soumis à sa juridiction, le pouvoir le plus absolu, et n'était, en fait, tenu à quelque réserve que vis-à-vis du contratador.

Telles étaient, dans leur ensemble, les mesures qui, dans l'esprit des économistes portugais de cette époque, devaient avoir pour but d'accroître le plus possible les revenus du trésor, en empêchant le libre développement de la seule industrie qui pût fournir aux habitants de cette région des chances de succès.

Leur application, du reste, dans une région étendue, couverte de forêts vierges, sans routes, à peine peuplée, était fort difficile. Les gisements étaient vierges encore, beaucoup étaient d'une exploitation facile, ne nécessitant aucun travail préparatoire, et pour laquelle une pioche et une battée pouvaient suffire entre les mains d'un *faiscador* habile. Le diamant, d'autre part, est bien la matière qui se prête le plus facilement à la contrebande. Aussi, même à l'époque où les règlements étaient appliqués avec le plus de rigueur, le nombre des hommes qui se livraient à la recherche prohibée du diamant fut-il toujours grand; et sans qu'il soit possible de donner d'évaluation, il est probable que la valeur des pierres qu'ils purent extraire fut considérable.

Ces hommes, qui vivaient dans les bois, isolés ou par petites bandes, s'appelaient *garimpeiros;* la plus grande difficulté pour eux était de se procurer du fer pour faire quelques instruments. On en cite qui, échappés de prison, ayant encore au cou le carcan et la chaîne qui servaient à les attacher, transformèrent ce métal en instruments de travail.

Pour les poursuivre, l'intendant possédait les patrouilles de troupes royales qui parcouraient constamment la région, recherchant les garimpeiros et surveillant les travaux des contratadors. A côté de ces troupes régulières, l'intendant et aussi le contratador avaient à leur solde des hommes, baptisés du nom de *Capitaos do Matto* (capitaines des bois), dont l'unique métier était de donner la chasse aux nègres fugitifs et aux garimpeiros.

Quelques contratadors firent des affaires fort brillantes, si brillantes même que, pour deux d'entre eux, elles se terminèrent par une confiscation totale ou partielle de leurs biens, déguisée sous des prétextes quelconques.

Puis le gouvernement portugais, qui n'avait adopté le système des contrats que pour être fixé sur les résultats

que pouvait produire une exploitation sérieuse et importante, se décida enfin à exploiter directement pour son compte. L'administration de Diamantina, légèrement modifiée, soumise à la direction du trésor de Lisbonne, fut chargée de cette exploitation officielle qui commença en 1772, sous le nom de *Royale Extraction.* Il est, je crois, impossible de savoir, même approximativement, quelle quantité de diamants a été extraite durant la période des contrats.

Débarrassé du contratador, l'intendant n'en devint que plus puissant; toutes les prescriptions réglementaires qui avaient pour but de garantir le contratador de la contrebande furent maintenues et même exagérées en faveur de l'administration. L'intendant, chef de cette administration, continua, du reste, à être chargé de poursuivre directement l'application de la loi, sans le secours d'aucun tribunal, jugeant seul, *de plano*, sans appel et, dit le règlement, le plus rapidement et avec le moins de formalités possible.

Quelques modifications furent faites aux règlements antérieurs; deux d'entre elles me paraissent mériter d'être mentionnées.

La première prohibait absolument l'entrée du terrritoire à quiconque avait fait des études de droit. La seconde portait sur le système des dénonciations : tout dénonciateur pouvait apporter sa dénonciation écrite, non signée, à l'intendant. Celui-ci la datait et la paraphait, puis la rendait à celui qui l'avait apportée. A partir de ce moment ce morceau de papier pouvait être donné, vendu, négocié : c'était un billet au porteur; quand, le procès terminé, la confiscation était liquidée, il donnait à son détenteur actuel droit à la part prévue par la loi. Si le dernier détenteur était esclave, il y gagnait en outre sa liberté.

Ce régime nouveau, inauguré en 1772, appliqué tantôt avec vigueur, tantôt avec modération, selon le caractère

de ceux qui occupèrent successivement l'intendance, dura jusqu'en 1845. A cette date, l'*Extraction* fut officiellement supprimée.

Comme personnel, l'administration avait acheté au dernier fermier un certain nombre d'esclaves; elle en louait d'autres dans le pays; quand elle payait bien, les propriétaires lui louaient volontiers; quand elle traversait des périodes critiques et se trouvait obligée à diminuer ses prix, elle savait encore, par la menace de l'expulsion, obliger les propriétaires à lui laisser leurs esclaves. Elle arrivait ainsi à disposer de ressources considérables, et elle employa parfois plus de 4.000 esclaves à ses travaux.

On possède, du reste, sur les résultats, des renseignements que l'on n'a pas sur les résultats des travaux par contrats. On sait, par exemple, que de 1772 à 1845, les différentes exploitations entreprises produisirent un total de 269.870 grammes; sur cette somme, 80 pierres pesaient plus de 3gr,5.

Dans un rapport officiel de l'administration, on peut trouver, pour certaines périodes, non seulement la quantité de pierres extraites, mais l'importance des dépenses d'extraction. Voici ces chiffres :

De 1772 à 1795, en vingt-trois ans, on a extrait un poids de 174.842 grammes. La dépense totale a été de 38.706.090 francs. On a extrait de l'or pour une valeur de 3.169.460 francs. Défalcation faite de la valeur de l'or ainsi extrait, on trouve que la dépense faite pour la production de 1 gramme de diamant est de 203 francs.

De 1796 à 1801, la dépense d'extraction de chaque gramme de diamant aurait été, toujours défalcation faite de l'or extrait, de 195 francs.

Dans la période de 1801 à 1806, la même dépense aurait été réduite à 162 francs.

Des divers intendants qui se succédèrent à la direction de l'extraction, celui qui a laissé les souvenirs les plus vi-

vaces fut Manoel Ferreira de Bittencourt Camara, intendant de 1807 à 1822. C'est celui-là même qui eut l'idée fort juste qu'il pouvait être utile dans un pays riche en minerais de fer et livré exclusivement à l'industrie des mines, de créer une fabrique de fer; nous avons vu déjà comment il la mit à exécutionau Morro-de-Gaspar-Soares. Il eut de même l'idée non moins juste que, pour l'exploitation du diamant, il pourrait être avantageux de substituer le travail des machines au travail manuel exclusivement en usage alors comme aujourd'hui, mais il faut croire que l'exécution ne fut pas plus heureusement comprise que celle de sa fabrique de fer, car il ne reste maintenant que le souvenir des tentatives qu'il fit dans ce sens. Mais si, en tant qu'ingénieur, il fit preuve de plus de bonne volonté que de capacité comme administrateur, du moins il se distingua fort avantageusement de ses prédécesseurs. Il sut adoucir, en fait, les prescriptions du règlement qu'il avait à faire appliquer ; il en modifia quelques dispositions dans un sens libéral. C'est ainsi, par exemple, qu'il autorisa l'exploitation de nombreuses mines d'or, en exigeant simplement des exploitants qu'ils vinssent apporter à l'administration les diamants qu'ils pourraient rencontrer en cherchant de l'or. Ces diamants leur étaient achetés pour un prix fixé à l'avance.

C'était, du reste, l'époque où la cour portugaise, fuyant l'invasion française, s'était réfugiée à Rio-de-Janeiro, le Brésil n'était plus, à proprement parler, colonie; les idées libérales y pénétraient peu à peu, et des adoucissements dans les règlements des temps antérieurs étaient au moins aussi utiles dans l'intérêt même de l'administration qu'elles étaient absolument justes.

Après Camara, l'indépendance du Brésil proclamée, l'*Extraction* qui, du reste, ne recevait plus les fonds qui lui étaient indispensables, ne conserva plus guère qu'une existence officielle. Elle était morte en fait quand, le pays

étant enfin sorti de la période d'organisation, elle fut officiellement supprimée en 1845. Elle fut alors remplacée par la loi actuelle, qui règle les conditions d'obtention des concessions de gisements diamantifères, en vue d'en faciliter et non plus d'en restreindre l'exploitation.

Gisements du diamant. — Les diamants qui existent au Brésil, dans les provinces de Minas-Geraes, Bahia, Parana, Matto-Grosso, Goyaz, sont exploités à Minas, aux environs de Diamantina, Grao-Mogol et Bagagem. On en rencontre, du reste, en d'autres points, près de Conceiçao par exemple, près de Cocaës, etc. Je ne m'occuperai ici que des exploitations de Diamantina, qui sont les plus importantes.

Le diamant se trouve mélangé à un gravier roulé, d'aspect tout particulier, qui, dans la langue des mineurs, s'appelle *cascalho*. Je conserverai ce nom, faute d'en pouvoir trouver une traduction même approchée. C'est une masse de petits cailloux roulés, mêlés à très peu d'argile, formée pour la plus grande partie de morceaux de quartz; mais en l'examinant avec soin, on y peut trouver une grande quantité de minéraux qui, pour l'ensemble au moins, se retrouvent, je crois, les mêmes partout, et ont été étudiés en France par M. Damour, pour le cascalho de Bahia; au Brésil par M. Gorceix, pour celui de Diamantina. En voici la liste :

Quartz.
Rutile.
Rutile pseudomorphe de l'anatase.
Anatase.
Arkansite.
Fer titané.
Tourmaline.
Fibrolite.
Chloro-phosphates hydratés.
Klaprothine.
Psilomélane.
Disthène.
Fer oligiste ordinaire.
Fer oligiste octaédrique.
Pyrite altérée.
Limonite.
Fer magnétique.
Hématite.
Pyrite martiale.

Silex.	Staurotide.
Jaspe.	Sphène.
Granats.	Euclase.
Talc.	Or.
Mica.	

Il s'en faut de beaucoup, du reste, que tous ces minéraux se rencontrent en égale abondance, ni même qu'ils se trouvent tous forcément dans un cascalho donné; ils sont, au contraire, inégalement répartis, et la prédominance de certains d'entre eux peut même caractériser des cascalhos de diverses provenances. Les plus abondants, à Diamantina au moins, sont les divers oxydes de titane, la tourmaline, le fer oligiste surtout, le fer oligiste octaédrique et l'or.

Les chercheurs de diamants les connaissent tous, ils les ont baptisés à leur façon, la plupart du temps avec des noms tirés de l'aspect extérieur, c'est ainsi, par exemple, que les tourmalines roulées, noires, sont appelées haricots noirs (*leijao preto*); les quartz roulés, œufs de pigeon; les petites aiguilles de disthène, paille de riz; etc. ils donnent à l'ensemble de ces minéraux le nom de *formaçao*, connaissent quelle est la formaçao qui domine dans une région déterminée. C'est la formaçao qu'ils cherchent tout d'abord dans le cascalho, sachant fort bien que si elle est abondante et de bonne qualité, il y aura du diamant, que si, au contraire, elle n'existe pas, ils ont affaire à du cascalho absolument stérile.

Quant au cascalho lui-même, on lui connaît trois modes de gisement : dans le lit des rivières; sur les rives des mêmes rivières, parfois même à une grande hauteur; sur les hauts plateaux.

L'existence du cascalho dans le lit des rivières s'explique d'elle-même : il y est d'ordinaire riche et contient plus de gros diamants vers les sources; des diamants plus fins, au contraire, à mesure que l'on descend; tout cela résulte,

très naturellement, de la véritable préparation mécanique à laquelle il a été soumis en roulant sur le lit de la rivière. Il est, du reste, réparti assez irrégulièrement, en chapelet, au fond du lit, et atteint d'ordinaire son maximum de richesse dans ce qu'on appelle un *caldeirao.*

Un caldeirao est une excavation à peu près sphérique, cylindrique si elle est profonde, creusée dans les roches du lit, à parois lisses comme si elles avaient été tournées au tour; on les rencontre partout où la disposition des lieux a produit dans l'eau des mouvements tourbillonnants, et l'on conçoit que les pierres entraînées dans ce mouvement et tournant indéfiniment sur le fond aient fini par y produire ces excavations. Il en existe même dans les rivières qui ne sont point diamantifères ; dans celles-ci, on comprend que la présence de quelques diamants n'a pu que favoriser leur production ; en outre, ces diamants auront usé, non seulement la paroi solide, mais les cailloux en mouvement avec eux, jusqu'à les avoir réduits à un volume tel qu'ils puissent être entraînés, puisque cet entraînement par l'eau ne dépend pas seulement de la densité. Il arrive donc qu'il y avait, par ce mécanisme, accumulation de diamants et enrichissement du cascalho; les mineurs le savaient fort bien, et je crois qu'il n'y a pas de meilleur indice de la richesse d'un point d'une rivière que l'existence d'une disposition des rives qui favorise la production de tourbillons. Il me faut bien ajouter que cet indice perd aujourd'hui beaucoup de sa valeur, maintenant que toutes ces rivières ont été déjà travaillées on ne sait combien de fois, et en présence de l'incertitude, bien démontrée par quelques insuccès, des données de la tradition au sujet des points que l'on suppose encore vierges.

Ce cascalho est recouvert par une couche de blocs de pierre, quelques-uns considérables, qu'il faut en général briser à la poudre pour pouvoir les enlever. Au-dessus, enfin, vient une couche de sables modernes, absolument

stérile. L'importance de ce dépôt superposé au cascalho est essentiellement variable, le dépôt de sable étant beaucoup plus important, du reste, que la couche de rochers; elle n'est parfois que de quelques mètres; ailleurs, là où le lit de la rivière a subi un approfondissement considérable, où il s'est produit ce qu'on appelle un puits (*piçao*), une espèce d'énorme caldeirao, cette épaisseur atteint jusqu'à 25 et 30 mètres. Ce sont là encore, naturellement, des points riches, mais d'une exploitation plus difficile.

Les dépôts riverains, ceux du moins qui ne sont pas à une hauteur excessive, ont pu être formés de la même façon que les dépôts de rivières, quand celles-ci roulaient un plus grand volume d'eau; ils sont, comme les précédents, recouverts d'une couche de matières stériles.

Quant aux dépôts des plateaux, leur origine est plus problématique : ils sont formés d'un cascalho grossier répandu à la surface du sol, sans être y recouverts par des dépôts subséquents, ce qui fait dire aux mineurs qu'on y trouve le diamant dans les racines du gazon.

La région des environs de Diamantina forme un vaste plateau dominé aux extrémités par des chaînes plus élevées, parcouru par un grand nombre de rivières qui n'ont pas, à proprement parler, de vallées, mais paraissent bien plutôt s'être peu à peu creusé les sillons profonds et étroits au fond desquels elles coulent aujourd'hui. Les diamants qui semblent provenir des chaînes plus élevées qui dominent ce plateau ont donc pu autrefois se répandre sur toute la surface, alors que le lit des rivières devait être au même niveau: ceux qui se seraient ainsi déposés sur la partie du terrain que les érosions ultérieures ont respectée y seront tout naturellement restés. Peut-être est-ce le mode de formation de ceux des dépôts que l'on rencontre maintenant encore à des altitudes considérables.

Quoi qu'il en soit, tant au fond des rivières que sur

leurs rives ou sur les plateaux, les gisements exploités sont tous des gisements d'alluvion.

De toutes les rivières de la région, la plus importante et la plus riche à la fois est le Jequitinhonha, dans son cours supérieur au moins. Des affluents que reçoit le Jequitinhonha, ceux de la rive droite sont ou stériles ou très pauvres. Ceux de la rive gauche, au contraire, Rio Caéthémerim, Rio Pinturo, Ribeirao-de-Enferno surtout, ont été très riches. Ces affluents de la rive gauche descendent de la chaîne de séparation des eaux du Jequetinhonha et du Rio S.-Francisco : les rivières qui descendent de la même région de la chaîne de séparation dans le bassin du Rio S.-Francisco, Rio Pardo, Rio Parauna, etc., sont également diamantifères.

Il y a dans ce fait au moins une forte présomption que les diamants que l'on rencontre aujourd'hui dans les alluvions descendent de cette chaîne de séparation qui domine le plateau de Diamantina, et ceci me conduit à parler d'un gisement tout spécial, le seul de son espèce, à ma connaissance, qui ne présente plus aucun caractère de dépôt d'alluvion. A S.-Jean-de-Chapada, un des points les plus élevés de la chaîne de séparation des eaux, à 35 kilom. environ de Diamantina, on extrait des diamants dans des couches d'argile intercalées dans les quartzites : ces couches d'argile sont nettement stratifiées, en concordance avec les couches de quartzites, dirigées N. quelques degrès E., inclinées de 55° en moyenne vers l'Est : elles paraissent incontestablement en place et semblent avoir été produites par la décomposition de couches schisteuses. Il y a eu là des travaux considérables, arrêtés aujourd'hui, et sur lesquels je reviendrai plus loin ; le résultat de ces travaux, faits à ciel ouvert, a été le creusement d'une énorme tranchée qui a plus de 40 mètres de profondeur maxima et du milieu de laquelle partent deux minces filets d'eau : ce sont les sources, l'un du Rio Duro, qui appartient au

bassin du Jequitinhonha, l'autre du Rio S.-Joao, affluent du Rio d'Ouro-Fino (bassin du S.-Francisco). L'étude topographique du terrain et la restitution de ce qu'auraient dû être les affleurements de l'argile diamantifère dans l'hypothèse, où ce serait réellement une couche, comparées avec ce que montre l'état actuel, me conduisent à penser qu'il s'agit probablement non pas d'une couche véritable, mais plutôt d'une grande lentille intercalée dans les couches de quartzites. L'aspect général rappelle étonnamment celui des carrières de topazes des environs d'Ouro-Preto. J'ai vu laver de l'argile extraite devant moi et qui a donné quelques diamants. Ces diamants ne sont pas roulés : on trouve avec eux dans la battée les mêmes minéraux qui accompagnent le diamant dans le cascalho, mais non roulés et en moins grande quantité, ce qui serait tout naturel s'il s'agit là d'un gisement en place et par suite d'une matière qui n'aurait été soumise à aucune préparation mécanique. Il y a là un fait extrêmement intéressant, tant par la nature de ce gisement que par sa position par rapport aux rivières diamantifères. Est-ce un gisement primitif du diamant? cela paraît pour le moins fort probable. Y a-t-il sur cette chaîne de séparation d'autres gisements analogues? je l'ignore absolument. Les diamants que l'on trouve dans les divers dépôts d'alluvions proviennent-ils de la destruction par les eaux de gisements de cette espèce? cela paraît très vraisemblable ; je me garderai cependant de rien affirmer, ne voulant pas entreprendre sur des travaux commencés à ce sujet par mon compagnon de voyage à Diamantina, M. Gorceix. Je tenais seulement à signaler ce gisement tout spécial, si intéressant, sur lequel je reviendrai du reste à propos de l'exploitation du diamant.

Il est à ma connaissance que l'on rencontre à Grao-Mogol des diamants dans des couches de quartzites, j'ai eu l'occasion d'en voir des échantillons, mais n'ai jamais visité ces gisements et je ne puis que les signaler.

Mais en somme, en dehors de l'argile de San-Joao et des quartzites de Grao-Mogol qui présentent un si vif intérêt au point de vue de l'origine du diamant, ce minéral n'est en fait exploité que dans des gisements d'alluvion. Parmi ces derniers, les plus importants sont ceux du lit des rivières ; c'est de leur exploitation que je m'occuperai spécialement.

Exploitation du diamant. — Autant qu'on en peut juger par ce que rapporte la tradition de la façon dont se faisaient autrefois les exploitations en rivière, au temps des contrats ou de l'Extraction, il ne semble pas qu'il ait été fait depuis des progrès bien notables, si ce n'est pour les pompes. Aujourd'hui comme alors ce n'est qu'à force de bras qu'on arrive à tirer quelques diamants. Ces exploitations en rivière ne se peuvent faire qu'en desséchant le lit ; si grande que soit l'épaisseur des dépôts superposés au cascalho, on ne peut, en effet, songer à passer en dessous de matières sableuses sans consistance, imprégnées d'eau. D'après ce que j'ai dit plus haut du cours des rivières, qui coulent au fond de gorges étroites, on comprend qu'il n'est guère possible, en général, de dériver le cours d'eau : il ne reste que la ressource de le faire passer dans un canal provisoire. Ce canal, quand la disposition des lieux le permet, est installé sur l'une des rives, sur le sol même, séparé du lit réel par un mur en pierres sèches et mousse, mais la plupart du temps, sur sa plus grande étendue, même sur la totalité, il est fait en planches et porté sur pilotis.

Une fois choisi le point où doit être faite l'exploitation, on barre la rivière en amont et en aval, au moyen de barrages en pierres sèches, fascines, mousse ou herbe et terre; entre le barrage d'amont, le plus important des deux, celui qui aura à supporter la pression de l'eau, et le barrage d'aval, dont le seul but est d'empêcher les eaux

de refluer, on organise le canal, en profitant de la rive le plus qu'on peut, en planches quand on ne peut faire autrement. Entre ces deux barrages on peut alors procéder à l'exploitation de la partie de la rivière qui vient d'être asséchée; si les barrages sont faits avec soin, surtout si on a pu les asseoir directement sur la roche solide, ils ne laissent filtrer que fort peu d'eau, qu'il est facile d'assécher avec des pompes. Le canal lui-même, calfaté avec une espèce d'étoupe commune dans le pays, ne perd pas.

L'exécution des barrages et du canal n'est qu'un travail préparatoire : il est d'ordinaire bien fait à Diamantina ; ce sont du reste, parfois, des œuvres fort importantes : quelques chiffres en pourront donner une idée. A Acaba-Mundo, gisement en exploitation en 1881, le canal entièrement en planches, sur pilotis, avait une longueur de 140 mètres environ, une largeur de 5^{m},20, et débitait par seconde plus de 4.500 litres ; l'eau y courait avec une vitesse de 2^{m},25 à la seconde. C'était en 1881, parmi les diverses exploitations en activité, celle dont le canal débitait le plus grand volume d'eau; mais ces canaux sont presque toujours plus longs que n'était celui-là, et il en a été fait, sur le Jequitinhonha, en aval d'Acaba-Mundo, en des points où la rivière débite jusqu'à 8.000 litres.

On peut, par ces chiffres, comprendre l'importance de ces travaux préliminaires, qui s'ils doivent être faits sur une rivière importante, absorbent une grosse part de la dépense totale (sans les barrages, un canal comme celui d'Acaba-Mundo, peut coûter de 30 à 40.000 francs) ; ils deviennent, au contraire, relativement faciles sur les rivières moins importantes que le Jequitinhonha.

Le fait même du captage des eaux dans un canal entre les barrages, produit une chute d'eau dont le volume est égal au débit de la rivière et dont la hauteur très variable dépend de la surélévation du barrage d'amont et de la

différence de pente du canal et du lit naturel. Il serait tout naturel d'user de la force ainsi créée, mais à Diamantina on n'en tire qu'un profit presque nul, en en faisant servir une fraction infime à l'épuisement.

L'épuisement des travaux est fait par des pompes mues par des roues hydrauliques ; presque toujours, la hauteur de chute étant faible et le débit considérable, on y emploie des roues en dessous. Quand on peut placer ces roues près du barrage d'aval, les travaux sont simplifiés d'autant; mais souvent elles prennent l'eau en un point quelconque du canal et l'abandonnent dans un autre canal parallèle, à un niveau inférieur, mais tel encore que l'eau puisse s'écouler d'elle-même par-dessus le barrage; l'eau pompée est alors relevée jusqu'au canal inférieur. Les pompes sont fort grossières : le corps de pompe est en bois, à section carrée, de $0^m,20$ à $0^m,25$ de côté ; il est constitué par un tronc d'arbre convenablement évidé qui en forme trois parois; sur la face vide on applique une forte planche, et le tout est serré par des cadres et des coins. Le piston est formé par un chapeau de cuir, en forme de tronc de pyramide; la petite base est clouée à l'extrémité des tiges, la grande frotte contre les parois du corps de pompe. Le système a du bon, au moins pour les eaux sableuses, mais il est par trop insuffisant; au delà de 10 mètres de hauteur d'épuisement, le piston et le corps de pompe perdent à l'envi : on en est réduit alors à organiser une seconde roue et une seconde pompe, qui élève l'eau dans un réservoir où la reprend la première; si on dépasse 20 mètres, il faut une troisième roue et une troisième pompe. Il serait bien facile de faire mieux : on a en effet maintenant à Diamantina des tuyaux en tôle dont on se sert couramment pour former la colonne élévatoire au-dessus du corps de pompe; il suffirait d'un bon piston pour pouvoir supprimer le corps de pompe en bois.

Telles qu'elles sont construites aujourd'hui, ces pompes

exigent des roues capables de fournir environ 2,5 chevaux de force; elles sont tout en bois, manivelle comprise, et coûtent 800 francs chaque. Revenons à l'exemple d'Acaba-Mundo : en admettant que, vers la fin des travaux, on ait eu besoin de trois pompes, elles auraient, on le voit, absorbé de 8 à 9 chevaux ; or le débit est tel qu'une hauteur de chute de 1 mètre correspond à 6 chevaux de force, et la disposition des lieux permettrait de profiter de 10 mètres de chute au minimum. Cette observation suffit à montrer combien on laisse perdre d'une force qu'on a été obligé de créer et qu'il serait d'autant plus rationnel d'utiliser que, sachant en employer une partie au service de l'épuisement, il semble qu'on devait tout naturellement être conduit à en employer une autre partie au service de l'extraction, mais c'est justement ce qu'on ne fait pas et c'est par ce dernier côté, l'enlèvement des sables, que les exploitations de Diamantina laissent le plus à désirer. Tout le travail est fait à bras : on ne connaît même pas la brouette, l'instrument de transport universel est le *carumbé*. Un carumbé est une espèce de gamelle presque plate, en bois, de même forme que la battée, mais d'une exécution plus grossière ; à la fouille, on la remplit de sable (elle en peut recevoir 15 kilog. environ), puis un homme la charge sur la tête et va la vider soit dans le canal, où l'eau coule assez vite pour tout emporter, soit par-dessus les barrages, soit en un point quelconque favorable au dépôt des sables.

A la fouille, les hommes se servent de l'*enxada*, c'est l'instrument universel qui remplace ici pelle, pioche et bêche : l'enxada est à peu près ce qu'en France on connaît sous le nom de houe.

Quand, après avoir enlevé les sables stériles, on en arrive aux blocs de pierre, on les fait sauter à la poudre (les mineurs de Diamantina n'ont pas appris encore à se servir de la dynamite), les petits morceaux sont encore transpor-

tés en carumbés, les plus gros sont portés directement sur la tête.

A Acaba-Mundo, le travail étant en activité, 280 hommes environ étaient employés à l'extraction ; 18 emplissaient les carumbés que transportaient les 260 autres; on arrrivait ainsi à évacuer par minute 140 carumbés, soit pour une journée de travail de dix heures 1.200 tonnes, qui pouvaient ce jour-là être transportées horizontalement à 60 ou 80 mètres et élevées verticalement à 6 ou 8 mètres.

Le travail est fort curieux : les travailleurs, presque tous nègres et esclaves, sont partagés en trois ou quatre bandes, autant qu'il y a de points d'évacuation. Le premier arrivé jette son sable, puis ne bouge plus que le dernier de la bande n'en ait fait autant ; tous étant alors réunis chantent ensemble deux ou trois mesures de quelque chant nègre, puis se précipitent en courant vers la fouille, où ils arrivent tous ensemble faire recharger leurs carumbés.

Tout cela est à coup sûr fort pittoresque ; vus de loin, ces grands chantiers, où circulent trois à quatre cents travailleurs, présentent un spectacle curieux et, n'étaient les chants cadencés des nègres, font penser à quelque gigantesque fourmilière, mais c'est d'autre part fort peu expéditif et fort peu économique.

Les chiffres que j'ai donnés plus haut se rapportent au commencement de l'exploitation, alors que le chantier était encore étendu et que les hommes ne se gênaient pas ; mais à mesure que les travaux s'approfondissent, que la surface de la fouille diminue, les hommes en trop grand nombre se gênent de plus en plus, ils en arrivent à faire la chaîne et à se passer les carumbés de main en main, et le rendement de chacun diminue. Déjà, dans l'exemple ci-dessus, pour les distances indiquées et aux prix actuels, l'enlèvement d'une tonne de sable meuble coûte sensiblement 0f,60 de main-d'œuvre seulement.

Il n'est pas impossible qu'à une époque antérieure, con-

sidérant d'une part le manque de ressources du pays, d'autre part les prix fabuleux des transports qui aujourd'hui varient de 1.200 à 2.800 francs la tonne, alors que la main-d'œuvre était à très bas prix, ces procédés de travail aient pu être avantageux; mais les prix de main-d'œuvre ont augmenté rapidement; ils sont actuellement de 2f,50 par jour de travail, tout compris, plus du double de ce qu'ils étaient il y a seulement trois ou quatre ans, et il n'y a pas apparence qu'ils en restent là; il est donc permis de croire qu'il y aurait mieux à faire qu'à chercher à exploiter ainsi à force de bras.

Il y a plus, ces méthodes fussent-elles encore admissibles à ne considérer que le prix de l'extraction, elles devraient être abandonnées pour un autre motif.

Tous ces travaux se font dans un pays déboisé, où le sol exclusivement sableux ne retient pas l'eau, et où les rivières ont un régime absolument torrentiel. La moindre pluie double facilement leur débit; ce volume double pourrait, il est vrai, à la rigueur, passer dans les canaux qui ont d'ordinaire une hauteur verticale de 1m,25 pour une épaisseur d'eau de 0m,40, mais vienne la saison des pluies et au premier orage tout est emporté. Les pluies se succèdent alors presque sans intermittence, le volume d'eau arrive à être 8 à 10 fois ce qu'il est en temps sec, rien absolument n'y peut plus résister; les canaux d'ordinaire sont enlevés à l'avance, mais les barrages sont démolis, et en peu de jours toutes les excavations faites durant la saison sèche sont comblées et remises en l'état où elles étaient avant l'exploitation.

La saison sèche et la saison pluvieuse sont heureusement très distinctes, et une fois cette dernière terminée on peut compter, à peu près à coup sûr, sur près de quatre mois (mi-mai à mi-août) durant lesquels il ne pleut plus du tout. C'est cette période qu'il faut mettre à profit.

Mais alors, durant cette période de temps si courte, avec

la faible production qu'entraîne forcément le travail mensuel, il est trop clair qu'on ne peut songer à exploiter une grande étendue de rivière, et que cette étendue même va se restreindre, d'autant plus qu'il faudra aller chercher le cascalho à une plus grande profondeur, et l'on comprend que les mineurs de Diamantina en arrivent à juger fort difficile toute exploitation qui doit descendre à une quinzaine de mètres, et comme presque impossible celles qui devraient excéder 25 mètres.

C'est pour ce même motif, qu'après les exploitations répétées dont ont été le théâtre les lits des rivières de ces régions, il faut bien compter que tout ce qui était facile a été fait, et que l'on n'a plus guère de probabilités de rencontrer des points vierges que là où une grande profondeur constituait un obstacle presque invincible.

C'est aussi cette nécessité de ne travailler que quelques jours dans une année qui rend plus défectueux encore le mode de travail adopté. En fait, presque toujours la disposition des lieux impose la place des barrages; s'ils sont, comme c'est souvent le cas, à 500 ou 600 mètres de distance l'un de l'autre, même si la profondeur n'a rien d'excessif, l'exploitant ne peut guère nettoyer plus du quart ou de la cinquième partie de l'étendue asséchée; il a donc fait inutilement les 4/5 de son canal, et le fait se reproduira quatre ou cinq fois de suite s'il veut exploiter toute sa concession. Je pourrais citer, comme exemple, tel mineur de Diamantina, l'un des plus heureux du reste, qui en 1881 a refait pour la cinquième fois une exploitation sur la même concession, qui devra recommencer une sixième fois pour l'épuiser, de sorte qu'il aura fait six fois les deux mêmes barrages et le même canal; pour le canal, que l'on peut démolir avant les pluies, et dont on remise les matériaux, qui presque en totalité peuvent resservir, il y aura surtout excès de frais de main-d'œuvre; pour les barrages, la dépense se retrouve entière tous les ans. En

outre, l'incertitude du point exact où ont été arrêtés les travaux d'une année et où doivent être repris ceux de l'année suivante, peut faire perdre quelque riche caldeirao; il faut bien que le fait se soit souvent produit, puisqu'aujourd'hui encore la reprise de points notoirement épuisés amène parfois de vraies trouvailles.

Quel intérêt n'y aurait-il pas dès lors à pouvoir, une fois faits les travaux préparatoires si coûteux, exploiter en une fois, en deux au plus, la partie de la rivière asséchée? Le travail purement manuel ne le permet pas, car on ne peut accumuler les hommes sur un même point au delà d'une certaine limite; l'emploi de quelques machines peu compliquées pour l'élévation des sables le permettrait sûrement en empruntant la force motrice à la chute d'eau que l'on est forcément obligé de créer pour rendre l'exploitation possible. On supprimerait ainsi la répétition de dépenses due à la réfection annuelle des travaux préparatoires, et si les frais d'installation en étaient augmentés, d'autre part l'extraction d'une quantité de matière beaucoup plus considérable ramènerait au-dessous des prix actuels les dépenses spéciales d'extraction de la tonne. Il y a en somme, pour ces exploitations, un intérêt capital à pouvoir travailler vite, la rapidité d'exécution devenant, pour les raisons que je viens de dire, la condition la plus indispensable du succès.

Je ne puis guère citer de chiffres; rien n'est plus variable que la richesse d'un mètre cube de cascalho non seulement au point de vue du nombre, mais plus encore au point de vue de la grosseur des diamants que l'on y peut trouver. Du moins puis-je dire que si les exploitations de rivière conduites par les procédés que j'ai indiqués, procédés qui datent du temps des contrats, donnent invariablement des résultats fort brillants quand elles se font en des points où il y a encore du cascalho, elles donneraient nécessairement des résultats plus brillants encore entre les

mains d'hommes ayant quelque connaissance des travaux d'exploitation. C'est justement ce qui a fait défaut à Diamantina jusqu'à aujourd'hui.

Tout le problème se réduit à pouvoir profiter de la chute d'eau créée pour mettre en mouvement quelques treuils d'extraction : il y a bien des moyens d'obtenir ce résultat, et il n'entre nullement dans le cadre de ce travail de les indiquer ici. Je ne veux, pour terminer, que signaler un point spécial. Il peut se présenter tel cas où, de par la disposition des lieux, il soit fort difficile ou même impossible de répartir des roues le long du chantier, et où, ne pouvant plus disposer de force motrice qu'à l'extrémité des travaux, il deviendra nécessaire de la transporter jusqu'aux divers engins qui devront l'utiliser. Ceux-ci du reste (treuils d'extraction) devront presque toujours être de faible puissance et en assez grand nombre, pour que les ouvriers ne soient pas accumulés en quelques points jusqu'à s'y gêner. Tout se passe au jour. N'y aurait-il pas là un champ d'applications fort intéressantes du transport de la force par l'électricité ? Pour ma part, je le crois fermement, songeant surtout que l'on dispose de forces considérables, et que la question du rendement n'a plus qu'une importance secondaire, qu'en outre cela faciliterait dans une singulière mesure l'installation en chaque point utile de treuils d'extraction, sans que l'on soit gêné par l'encombrement que produiraient dans des chantiers longs et étroits, par exemple, un grand nombre de câbles en mouvement.

Ces travaux en rivière doivent nécessairement être exécutés pendant la saison sèche. Il en est de même des exploitations de dépôts riverains; ces derniers s'exploitent de la même façon que les premiers, mais les travaux préparatoires sont différents; il n'y a plus lieu ici de barrer la rivière ni de construire un canal; on la laisse couler dans son lit naturel et on se contente d'isoler les travaux par des barrages longitudinaux. On ne crée plus ainsi, nécessaire-

ment, de chute d'eau; il en résulte que l'on peut être, pour ces travaux, beaucoup plus gêné au point de vue de la force motrice.

Ces deux espèces de gisements constituent ce qu'on appelle à Diamantina des *Lavias de la saison sèche*. Cette dénomination leur est donnée en opposition à celle de *Lavias de la saison des pluies* qui s'applique à ceux des dépôts qui peuvent être exploités en tout temps, plus spécialement même à l'époque des pluies. Ce sont les dépôts des hauts plateaux; là le cascalho se trouve à la surface du sol, il n'y a plus de rivière à dévier, plus d'inondation à craindre, on y peut donc en principe travailler toute l'année; la saison des pluies est préférable en ce sens qu'il est alors plus facile de se procurer l'eau nécessaire aux lavages. Parfois même cette facilité à se procurer de l'eau peut venir en aide à l'exploitation; c'est le cas, par exemple, pour le gisement dont j'ai parlé de San-Joao-de-Barra qui, avec les procédés employés jusqu'ici, a été essentiellement une lavia des pluies. On se représente ce que peut être la recherche du cascalho disséminé à la surface du sol, dans les anfractuosités des rochers, sur les plateaux; il n'y a pas lieu d'insister; je préfère dire quelques mots de l'exploitation plus spéciale de San-Joao.

J'ai dit ce qu'était le gisement; enclavées dans une série de couches d'argile, qui paraissent elles-mêmes former une lentille dans les quartzites, et en concordance de stratification avec eux, on trouve une, peut-être plusieurs couches diversement colorées et diamantifères. Les travaux se sont toujours poursuivis à ciel ouvert; ils ont abouti à la formation d'une immense tranchée dont la direction générale est à peu près N.-S., qui a 800 mètres de long, une largeur entre les bords supérieurs variant de 200 à 80 mètres et une profondeur maxima de plus de 40 mètres. Pour arriver à cette profondeur, tout en conservant l'écoulement des deux ruisseaux qui naissent au fond de la tranchée, il a

déjà fallu, aux deux extrémités, leur creuser un lit dans le rocher ; un nouvel approfondissement exigerait l'exécution d'une galerie d'écoulement coûteuse, d'autant plus que les couches ayant un pendage de 55°, cet approfondissement serait rapide.

Cette excavation a dû être faite tout entière à bras, mais le travail manuel a été aidé; on en trouve la preuve dans la quantité de réservoirs de grande surface et de faible profondeur creusés à la surface du sol et pouvant écouler leurs eaux dans les travaux. Ces réservoirs étaient manifestement destinés à recueillir les eaux de pluie au moyen desquelles on enlevait la terre argileuse, vraisemblablement par le même procédé que j'ai décrit à propos de la mine d'or de Sumidouro. Comme il n'existe en ce point d'autre eau que celle des deux petits ruisseaux du fond, comme d'autre part il s'agit d'un des points les plus élevés d'une grande chaîne de séparation, il est clair qu'on ne peut y disposer d'autre eau que celle des pluies, et que, à moins de s'assujettir à faire le découvert entièrement à force de bras, on n'y pouvait travailler que pendant la saison pluvieuse. Un des derniers exploitants a voulu vaincre cette difficulté : il avait organisé des réservoirs pour capter l'eau d'un des ruisseaux, il l'élevait dans un réservoir supérieur au moyen d'une pompe à vapeur, et de là l'écoulait dans les travaux; il n'y a pas de bois dans les environs immédiats, de sorte qu'il arrivait à disposer, une fois toutes les quarante-huit heures, d'environ 320 mètres cubes d'eau qui lui coûtaient 20 francs. Ce n'était guère pratique, aussi ce système est-il abandonné.

A en juger par quelques essais qui ont porté sur 12 tonnes à peu près d'argile diamantifère, le dépôt est pauvre, ce qui n'a rien qui doive surprendre s'il s'agit seulement d'un dépôt en place qui n'a pu être enrichi mécaniquement. On conçoit qu'à l'origine, quand la profondeur était faible, les travaux faciles, il ait été possible d'exploi-

ter avec profit. Aujourd'hui, il n'en est plus de même : ces argiles sont absolument meubles, au moins à la surface découverte, et ne comportent aucun soutènement possible pour des fronts de taille en activité; on ne peut donc songer à y travailler souterrainement avec quelque 40 à 50 mètres d'un pareil terrain sur la tête; pour continuer à ciel ouvert, j'estime qu'il faudrait extraire de 40 à 60 mètres cubes de stérile pour 1 mètre cube de minerai, selon le point exploité, aussi j'imagine que ce gisement n'offre plus guère qu'un intérêt scientifique. Cet exemple n'en peut pas moins faire comprendre ce qu'étaient ces travaux de saison pluvieuse.

A mon grand regret, je ne puis que signaler ici, sans aucun détail, un procédé d'extraction du diamant tout spécial, pratiqué sur le lac Jequitinhonha, où la rivière est devenue déjà un grand fleuve. Je le rapporte par ouï dire, mais d'après des renseignements absolument dignes de foi. Les diamants que l'on rencontre encore à cette distance des sources sont de fort petite dimension, mais du moins le cascalho diamantifère se trouve à la surface même du lit du fleuve. Des plongeurs, sans appareil aucun, vont rapidement remplir sous l'eau des sacs qu'ils viennent laver à la surface. Ils obtiendraient ainsi au moins de quoi vivre. Le fait peut être intéressant, car, dans de pareilles conditions l'extraction des sables avec des dragues, si le fleuve peut en porter, pourrait être très peu coûteuse. Le temps trop limité dont je disposais lors de mon voyage à Diamantina ne m'a pas permis de descendre jusqu'aux points où se pratique cette exploitation, à un peu plus de 100 kilomètres en aval de Diamantina.

Traitement du cascalho. — Il me reste à indiquer comment, le cascalho une fois extrait, on en retire le diamant.

Les travaux en rivière sont tels qu'il y a nécessité à travailler le plus rapidement possible, jusqu'au jour où il

devient prudent de démolir le canal : on ne s'occupe donc nullement, pendant la période d'extraction, de la recherche du diamant; on se contente d'amener et de conserver à part le plus grand nombre possible de mètres cubes de cascalho. Quand les travaux d'extraction sont terminés, on s'occupe alors du traitement du cascalho obtenu. Ce traitement se fait au bac et à la battée.

Avant tout traitement, le cascalho est soumis, s'il est argileux, à un débourbage dans un bassin de faible profondeur, traversé par un courant d'eau. Des ouvriers piétinent le cascalho et l'agitent avec des enxadas pour faciliter ce débourbage, dont le résultat est la disparition de l'argile et du sable le plus fin. Le résidu va au bac.

Le bac est un petit bassin carré, de 1 mètre de côté environ, dallé, enterré sur trois côtés de $0^{m},35$ à $0^{m},40$ de profondeur, le quatrième côté restant ouvert. Le fond est légèrement incliné à partir du côté ouvert vers le côté opposé qui est la tête du bac; immédiatement en avant, du côté ouvert et à un niveau un peu inférieur, est un second bassin plein d'eau, dans lequel se tient l'ouvrier ayant de l'eau jusqu'à mi-jambe. Quand on lui a mis du cascalho dans le bac, il prend de l'eau dans sa battée et la jette avec force contre le cascalho : celui-ci s'accumule contre la tête, à chaque paquet d'eau qu'il reçoit il est violemment remué, et l'eau remontant sur le fond pour sortir emmène à contre-pente les sables les plus légers et les plus fins. En même temps, les grosses pierres viennent apparaître peu à peu à la surface du tas et on les enlève à la main. S'il est resté quelques boules d'argile, elles se désagrègent petit à petit, on y aide, du reste, en remuant de temps en temps le cascalho avec l'enxada, sans pour cela arrêter le jet de l'eau.

Le résultat dans le bac est du cascalho débarrassé à la fois de son sable le plus fin et de ses plus grosses pierres; c'est ce résidu qui est lavé à la battée.

Ce dernier lavage doit être fait très lentement par des laveurs habiles; il ne peut s'agir, en effet, comme pour l'or, de trouver le diamant au fond de la battée, il vient au contraire apparaître à la surface : après avoir remué le sable sur lequel il opère, en lui communiquant le mouvement tout spécial que comporte l'instrument, le laveur laisse couler doucement l'excès d'eau, et d'un coup d'œil rapide aperçoit les diamants qui ont pu être amenés à la surface du sable. Plusieurs, pour faciliter cette recherche, mêlent au cascalho un peu de sable bien blanc au milieu duquel le diamant est plus facile à distinguer. La battée se vide ainsi lentement; au fond on trouve les minéraux pesants parmi ceux qui accompagnent le diamant, et l'or, s'il y en a.

Je n'ai pas eu occasion de voir laver du cascalho de rivière, opération qui se fait à une époque bien postérieure à celle à laquelle je suis passé à Diamantina. J'ai vu laver seulement de l'argile de San-Joao, et le débourbage doit nécessairement enlever une bien plus grande proportion de matière que dans le cascalho. Là, 800 carumbés d'argile ont donné 45 carumbés de sable. Celui-ci a été traité au bac, en deux heures environ, avec un seul bac, mais deux hommes se relayant : il est resté 11 carumbés de matière à laver à la battée. Ce lavage avec trois battées a duré également environ deux heures et n'a du reste fourni que huit ou dix petits diamants sans valeur.

Le procédé n'est à coup sûr ni expéditif, ni économique, mais je ne pense pas qu'il puisse être remplacé par des procédés purement mécaniques.

En fait, le diamant ayant une densité de 3,5 et le quartz de 2,5, la différence n'est pas assez grande pour qu'on s'en rapporte à des appareils mécaniques pour la séparation des deux minéraux, étant donné, vu la valeur du diamant, que cette séparation doit être absolument rigoureuse. Comme le cascalho tient au moins 80 p. 100 de

quartz, il en résulte qu'il est plus simple de renoncer à toute séparation mécanique. Ce qui, je crois, pourrait être fait avantageusement, serait un débourbage mécanique suivi d'une classification de grosseur; il ne resterait à chercher le diamant qu'au milieu de pierres de grosseur comparable à la sienne et le travail serait, je pense, bien simplifié. Mais pour cette dernière partie, étant donnée la facilité avec laquelle on trouve de bons laveurs, la battée resterait encore, à Diamantina au moins, l'appareil le plus pratique.

NOTE
SUR CERTAINS COMBUSTIBLES TERTIAIRES
DE L'ISTRIE ET DE LA DALMATIE

Par M. LODIN, ingénieur des mines.

A la limite du terrain crétacé et du terrain éocène se rencontrent en divers points du littoral nord-est de l'Adriatique des gisements de combustibles fossiles, encore assez mal explorés jusqu'ici, mais dont la composition et la situation géologique présentent un certain intérêt au point de vue scientifique. Une étude spéciale de ces combustibles, faite au double point de vue géologique et chimique et fondée d'une part sur la réunion de renseignements épars dans diverses publications, d'autre part sur des recherches personnelles, nous paraît donc avoir quelque utilité.

CONSTITUTION GÉOLOGIQUE DE LA RÉGION.

Dans toute la région située au nord-est de l'Adriatique, la zone de transition entre le terrain crétacé et le terrain tertiaire offre des caractères tout particuliers, très variables d'un point à un autre. Elle semble s'être déposée dans des eaux peu profondes, le long d'une terre émergée située vers le sud-ouest et comprenant la partie méridionale de l'Istrie. De ce mode de formation devaient résulter naturellement des alternances de dépôts d'eau douce, de dépôts d'eau saumâtre et de dépôts marins ; les premiers contien-

nent en certains points les couches de combustibles sur l'allure desquelles nous reviendrons plus loin.

Lorsqu'on s'avance vers l'est, le faciès marin de la formation s'accentue de plus en plus; la discordance entre le terrain crétacé et le terrain éocène disparaît progressivement; enfin, en Croatie, la série sédimentaire devient continue. Elle est alors représentée par des couches à foraminifères, à l'exclusion des calcaires d'eau douce. En même temps, le faciès spécial du flysch, qui, sur le littoral de l'Adriatique, caractérise seulement les couches supérieures de l'éocène, descend de plus en plus bas à mesure qu'on avance vers l'est; il finit par représenter non seulement tout le terrain éocène, mais même, comme en Bosnie, tout le terrain crétacé (*).

Terrain crétacé. — Les étages crétacés supérieurs sont représentés en Istrie et en Dalmatie par des calcaires à rudistes extrêmement puissants qui constituent la plus grande partie de la région du Karst et lui donnent son aspect caractéristique. Il est assez difficile de subdiviser convenablement ces grandes masses calcaires et de déterminer leur âge avec précision; les fossiles, sans être rares, sont, en général, peu déterminables spécifiquement. On constate seulement que les radiolites abondent dans les niveaux inférieurs, tandis que les hippurites se rencontrent surtout dans les zones plus élevées; elles sont ordinairement empâtées dans une roche dure et ne peuvent en être arrachées que par fragments. L'attribution à l'époque turonienne des calcaires supérieurs du Karst ne repose donc sur aucune base rigoureuse; elle paraît même peu vraisemblable après la constatation faite en une foule de points, dans les environs de Trieste, par

(*) E. von Mojsisovics, *Jahrbuch der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1880, p. 212

exemple (*), de l'alternance de bancs à miliolites, d'aspect franchement tertiaire, mais contenant encore quelques rudistes, avec des bancs de faciès crétacé, où abondent les hippurites. Il y a tout lieu de supposer que les calcaires à hippurites constituent dans cette région un équivalent de tout ou partie de la craie blanche et peut-être de la craie supérieure, formations qui n'apparaissent nulle part dans le bassin méditerranéen avec leur faciès septentrional.

Étage liburnien. — M. G. Stache a désigné sous ce nom, en 1872, la zone de passage dont nous avons indiqué l'existence entre le terrain crétacé et le terrain éocène. Cette zone paraît correspondre plus ou moins exactement au terrain garumnien de Leymerie ; M. Stache la subdivise en : 1° calcaires inférieurs à foraminifères; 2° couches d'eau douce de Cosina; 3° calcaires supérieurs à foraminifères.

Les calcaires inférieurs à foraminifères commencent en certains points par ces alternances, signalées plus haut, de bancs marins, les uns d'apparence crétacée, les autres d'apparence tertiaire ; leur concordance avec le terrain crétacé est alors complète. En d'autres points, il semble y avoir une légère discordance ; dans les dépressions du calcaire à hippurites se sont déposées des formations d'eau douce, renfermant deux ou trois couches d'un combustible qui se rapproche beaucoup des houilles proprement dites, et que nous étudierons plus loin. Les couches marines de cette subdivision contiennent, outre de nombreuses miliolites, des gastropodes des genres *Cerithium* et *Actæonella*, des *Anomia*, etc. ; les couches d'eau douce contiennent tantôt des *Melania* du type de la *Melania ductrix* Stache, tantôt des planorbes en grand nombre.

(*) G. Stache, *Verhandlungen der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1872, p. 218.

Les couches de Cosina sont essentiellement une formation d'eau douce ou d'eau saumâtre ; on rencontre fréquemment des alternances multiples de lits très minces de combustible. Les calcaires qui les composent sont souvent remplis d'empreintes de sporanges de *Chara*, au point de prendre un aspect oolithique ; les débris de ces plantes elles-mêmes n'y sont pas très communs, bien qu'on y ait constaté l'existence d'une dizaine d'espèces distinctes. Près de Pisino, on a trouvé à ce niveau une couche de calcaire jaunâtre où les empreintes végétales sont bien conservées et où on a pu reconnaître de nombreux individus des genres *Banksia*, *Dryandra*, *Dryandroides* et *Sapotacites* (*) ; mais des empreintes analogues n'ont pas encore été rencontrées dans les points où les combustibles de l'éocène inférieur ont donné lieu à une exploitation industrielle.

Outre ces débris végétaux, les couches de Cosina contiennent en abondance des gastropodes d'eau douce ; à la partie inférieure, ce sont surtout des *Melania* de petite taille et des *Stomatopsis* (*St. Cosinensis* Stache) ; à la partie supérieure se rencontrent de grandes *Melania*, des *Megalomastoma* (*M. infranummuliticum* Stache), des Truncatelles, etc.

Les calcaires supérieurs à foraminifères sont des dépôts presque exclusivement marins, bien qu'on y rencontre en certains points des bancs peu épais de calcaire d'eau douce, avec *Chara* et *Melania*. A la base de cette division de l'étage liburnien apparaissent les nummulites, qui n'atteignent encore que de petites dimensions ; elles disparaissent ensuite presque complètement pour faire place aux alvéolines, très nombreuses et généralement de grande taille, puis reparaissent en grande abondance pour former le calcaire nummulitique proprement dit. Celui-ci n'a

(*) G. Stache, *Verhanddlungen der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1872, p. 219.

pas dans cette région une puissance bien considérable; à sa partie supérieure, il devient marneux et passe progressivement au flysch. La limite est assez nettement indiquée dans certaines localités par un puissant conglomérat renfermant encore quelques nummulites.

Les premiers calcaires nummulitiques sont généralement blancs et compacts; ils contiennent souvent des polypiers et des gastropodes marins, surtout des *Cerithium*.

Les calcaires à alvéolines sont ordinairement durs, siliceux, parfois un peu schisteux; leur faune est assez pauvre, sauf à leur partie supérieure, où se trouve une zone de bivalves assez caractéristique; on y rencontre spécialement la *Perna Istriana* Stache.

Le calcaire nummulitique supérieur est, au contraire, très riche en fossiles de types variés; les marnes qui le recouvrent, ordinairement de couleur foncée, abondent en débris de crustacés. Quant au conglomérat qui termine l'étage, il ne contient guère que des nummulites.

Les gîtes de combustible de Dalmatie paraissent représenter la partie supérieure de la zone nummulitique; ils ont fourni quelques plantes fossiles (*Banksia*, etc.).

Flysch. — Toute la partie supérieure du terrain éocène est representée par des grès argileux, ordinairement rougeâtres, appartenant à ce facies spécial connu sous le noms de Flysch et de Macigno. On n'y a rencontré jusqu'ici que des fucoïdes; il est donc impossible de subdiviser cette masse énorme de sédiments. Elle n'est recouverte que par des lambeaux de formations quaternaires dans le voisinage immédiat de l'Adriatique; mais plus à l'est, en Bosnie, elle supporte des dépôts miocènes en relation avec ceux du grand bassin de Hongrie (*).

(*) E. von Mojsisovics, *Jahrbuch der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1880, p. 206,

Limon rouge (terra rossa). — Tous les calcaires du Karst, aussi bien les calcaires éocènes que les calcaires crétacés, les calcaires d'eau douce que les calcaires marins, sont plus ou moins régulièrement recouverts d'un limon dont la couleur rouge intense a depuis longtemps frappé tous les observateurs. Ce dépôt ne se rencontre pas sur le flysch, ou ne s'y trouve qu'à l'état remanié, à petite distance des calcaires.

Le limon rouge paraît avoir pour origine la destruction lente des calcaires sous-jacents par les actions atmosphériques; il est d'autant plus rouge et plus ferrugineux que le calcaire inférieur est plus pur (*). Ce fait s'explique par la moindre proportion d'argile qui vient alors se mélanger avec le résidu très ferrugineux laissé par la dissolution du calcaire lui-même. Un échantillon de calcaire du Karst de Cherso, attaqué par l'acide acétique, a donné seulement 0,00062 d'un résidu qui tenait 20 p. 100 de fer; ce métal était engagé dans une combinaison silicatée facilement décomposée par l'acide chlorhydrique (**). L'assimilation faite par M. Neumayr de ce résidu avec celui que laisse la dissolution de la boue à globigérines ne constitue qu'une simple analogie, car nous avons vu que le limon rouge se rencontre souvent sur les calcaires d'eau douce.

L'hypothèse de la formation *éluviale* (suivant une expression due à M. Trautschold) du limon rouge, ou *terra rossa*, conduit à admettre que l'origine de cette formation ne remonte pas à une période spéciale; ce dépôt superficiel aurait commencé à apparaître aussitôt après l'émersion des calcaires qu'il recouvre, et il n'aurait jamais cessé de s'accroître par sa partie inférieure, par suite de la dissolu-

(*) Th. Fuchs, *Verhandlungen der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1875, p. 195.

(**) Neumayr, *Verhandlungen der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1875, p. 50.

tion lente des carbonates de chaux et de magnésie, sous l'influence des eaux pluviales chargées d'acide carbonique. Les seuls fossiles que l'on ait rencontrés dans le limon rouge sont des ossements de mammifères, protégés par quelques circonstances spéciales contre l'action dissolvante des eaux d'infiltration; ceux qu'on a trouvés en quelques points du Karst appartiennent au miocène supérieur (*).

Dans certaines parties de la région qui nous occupe, le limon rouge recouvre assez régulièrement la surface du calcaire et en nivelle les irrégularités. Mais le plus souvent, ces irrégularités prennent des proportions très considérables et deviennent des entonnoirs profonds, comme on en voit beaucoup dans le Karst, et sur l'origine desquels nous aurons l'occasion de revenir. Le limon rouge s'accumule alors au fond des entonnoirs, laissant à nu leurs parois rocheuses; il reste cependant des lambeaux du dépôt superficiel sur les crêtes étroites qui séparent les entonnoirs les uns des autres.

GISEMENTS DE COMBUSTIBLES.

Gîtes de Dalmatie. — Nous insisterons peu sur ces gîtes, que nous n'avons pas eu l'occasion de visiter, et qui sont loin de présenter des particularités aussi caractéristiques que ceux de l'Istrie.

Les gîtes de Monte-Promina, près de Dernis, et de Dubravizza et Velikaglova, près de Sebenico, appartiennent à la zone nummulitique supérieure. A Monte-Promina, la coupe du terrain est la suivante, dans l'ordre descendant :

1° Conglomérats supérieurs (sommet du Monte-Promina);

2° Marnes schisteuses et grès, contenant les couches de combustible;

(**) Neumayr, *ibid.*

3° Conglomérats inférieurs (plaine de Dernis);

4° Calcaire nummulitique.

Dans cette localité, on ne connaît qu'une seule couche de combustible, d'une puissance moyenne de 8 à 9 mètres, variant entre 2 et 14 mètres. Cette couche est subdivisée en trois veines par deux nerfs de marne blanchâtre, épais de 0m,10 à 0m,30; son toit est formé par des schistes bitumineux très inflammables, épais de 3 mètres. La formation tertiaire paraît former un bassin allongé du nord au sud, avec un plongement de 10° à 15° vers l'est sur son bord occidental, le seul exploré jusqu'ici. Ce bassin est d'ailleurs fort incomplètement connu et ne fournit que 6 à 7.000 tonnes de combustible par an.

Ce combustible est un lignite un peu collant, ne tenant que 3 à 6 p. 100 de cendres, mais d'une teneur en soufre exceptionnellement élevée; on aurait, paraît-il, trouvé jusqu'à 17 p. 100 de soufre dans certains échantillons. C'est là, d'ailleurs, un caractère commun à tous les charbons éocènes de la région.

A Dubrovizza et Velikaglova, le terrain éocène forme également un bassin allongé, dont l'allure est encore moins exactement connue que celle du bassin de Monte-Promina; on sait cependant que le terrain y est beaucoup plus tourmenté et que certaines parties du bassin paraissent avoir été renversées. On a reconnu, au milieu de marnes bleuâtres, six couches de combustible, dont les deux plus élevées ont seules été l'objet de recherches, peu étendues d'ailleurs. Ces couches ont 2m,20 et 1m,40 de puissance; elles donnent un lignite analogue à celui de Monte-Promina, mais plus impur, car il contient jusqu'à 12 p. 100 de cendres. La production est restée insignifiante jusqu'ici.

Côtes d'Albona. — Aux environs d'Albona, sur la côte orientale de l'Istrie, la base du terrain éocène con-

tient, immédiatement au contact du calcaire à hippurites, des couches de combustible de bonne qualité qui donnent lieu à une exploitation assez importante. Ces couches s'enfoncent sous le plateau qui supporte la petite ville d'Albona, entre la mer et la profonde dépression de la vallée de l'Arsa, dirigée à peu près nord-sud et prolongée à son extrémité sud par un golfe profond, connu sous le nom d'Arsa Canal. A l'est de la vallée de l'Arsa, au-dessous d'Albona, s'ouvre une vallée secondaire, celle de Carpano, où l'exploitation du combustible a eu son origine et a encore son siège principal. La coupe transversale de cette vallée présente la série suivante :

1° Grès du flysch, d'une grande puissance, généralement rougeâtres.
2° Conglomérat nummulitique.
3° Calcaire nummulitique. } Puissance : 20 à 25 mètres.
4° Calaire à alvéolines. }
5° Calcaire brun jaunâtre dur, à miliolites, avec quelques bancs d'eau douce à sporanges de *Chara*. — Puissance : 18 à 20 mètres.
6° Calcaire à *Chara*, avec intercalations de lits minces d'un calcaire marneux et feuilleté; celui-ci contient des *Cerithium* du type du *C. corvinum*, tandis que le calcaire compact renferme un grand nombre de *Melania*. — Puissance : 4 à 5 mètres.
7° Banc peu épais où apparaissent les miliolites.
8° Couches de Cosina proprement dites, composées d'une masse puissante de 30 à 35 mètres de calcaires compacts avec sporanges de *Chara*, et un grand nombre de *Melania*. Ces calcaires sont divisés en bancs distincts par de nombreuses veinules de charbon, dont l'épaisseur atteint parfois $0^m,25$.
9° Niveau des combustibles exploités, d'une puissance très variable. Il se compose de trois couches de charbon, fort irrégulières, dont l'épaisseur individuelle, souvent insignifiante, peut atteindre 3 à 4 mètres, et de couches d'un calcaire d'eau douce, tantôt compact, tantôt marneux et feuilleté, mais presque toujours bitumineux. Les planorbes abondent à ce niveau; on y rencontre en moindre quantité d'autres gastropodes d'eau douce, surtout des *Melania*. Les em-

preintes végétales sont, au contraire, très rares et peu déterminables.

10° Calcaire à hippurites, qui forme un massif important à l'ouest de la vallée de Carpano.

La puissance totale de l'étage liburnien atteint 100 mètres au maximum dans cette localité.

L'épaisseur moyenne du combustible exploité à Carpano n'est pas aussi considérable qu'on pourrait le supposer à première vue, d'après les indications précédentes. Les trois couches sur lesquelles portent les travaux atteignent bien chacune une puissance de 3 à 4 mètres, mais jamais simultanément. Il semble s'établir entre elles une sorte de compensation ; lorsque l'une d'elles se renfle, les autres s'amincissent. Les renflements des couches contiennent en outre des nerfs d'un calcaire plus ou moins marneux, d'une puissance assez notable ; il en résulte que l'épaisseur utile de chacune des veines exploitées ne dépasse jamais deux mètres, et que la puissance moyenne de l'ensemble n'est que de 0m,90 dans toute l'exploitation de Carpano. A une certaine distance des affleurements, les trois couches s'amincissent assez brusquement et finissent par disparaître sans laisser aucune trace. Les recherches faites jusqu'ici suivant l'aval pendage, n'ont pas réussi à retrouver leur prolongement, et l'on ne sait s'il s'agit d'une disparition définitive ou d'un étranglement local dû soit à des causes contemporaines de la formation du dépôt de combustible, soit à des actions mécaniques postérieures. Un symptôme peu favorable est l'absence complète d'affleurements sur le bord oriental du bassin tertiaire, le long de l'Adriatique ; il semblerait indiquer que la disparition des couches en profondeur doit être considérée comme définitive. Il convient néanmoins d'attendre le résultat de nouvelles recherches avant de se prononcer sur ce point, d'autant que l'étendue de la formation charbonneuse paraît être beaucoup plus considérable qu'on ne le supposait anciennement. Des

travaux faits au sud vers Prodol, au nord vers Vienes, ont montré que les couches s'étendaient de part et d'autre assez loin du centre primitif d'exploitation, situé dans la vallée de Carpano ; leur direction moyenne est de 30° E. et leur plongement de 10 à 15 vers le sud-est dans toute la région exploitable. Le relèvement est beaucoup plus brusque sur le bord oriental du bassin, là où les affleurements font défaut.

D'après l'ensemble des observations ci-dessus, il semble que l'hypothèse du flottage soit la seule qui permette d'expliquer la formation des combustibles de Carpano. L'absence presque complète de dépôts argileux dans l'ensemble des formations d'eau douce de cette localité, la rareté des empreintes végétales et leur mauvais état de conservation, les variations brusques d'épaisseur qu'on ne peut guère attribuer ici à des actions mécaniques, tout contredit l'idée d'une formation sur place et semble indiquer que ces combustibles proviennent de l'accumulation de débris végétaux, amenés par les cours d'eau d'une terre située au sud-est. Ces débris se seraient déposés dans des lagunes littorales, situées entre cette terre et la mer assez profonde où se déposaient les couches inférieures à foraminifères de l'étage liburnien, bien développées en Croatie.

Le soulèvement qui a donné aux dépôts ainsi formés leur allure actuelle, paraît remonter à l'époque du miocène inférieur, d'après l'allure des petits bassins néogènes qui existent dans la région.

Altérations locales du combustible. — Bien que les combustibles de Carpano ne soient pas précisément très altérables à l'air, ils finissent néanmoins par subir l'action des agents atmosphériques. Ils se transforment en une sorte de terreau brun, très meuble, médiocrement combustible et où la proportion de cendres est notablement plus élevée que dans le charbon normal, comme on le verra plus loin.

Cette altération s'est naturellement produite à partir des

affleurements ; dans ceux de Prodol, par exemple, elle s'est propagée ainsi à une assez grande distance. Un fait assez remarquable et difficile à expliquer à première vue, c'est que son extension est généralement plus grande dans la couche inférieure que dans les deux autres. C'est que cette couche repose immédiatement sur les calcaires à Hippurites, beaucoup plus crevassés et par suite plus perméables que les calcaires éocènes ; l'action oxydante des eaux atmosphériques s'est exercée particulièrement par cette voie et a porté surtout sur la couche la plus rapprochée du calcaire crétacé. On rencontre en outre de temps en temps à l'intérieur des travaux des zones plus ou moins étendues de charbon altéré et on peut constater que ces zones correspondent au prolongement souterrain d'entonnoirs superficiels ouverts dans les calcaires éocènes ; nous croyons utile d'ajouter ici quelques indications sur l'allure et l'origine de ces entonnoirs.

Entonnoirs du Karst. — Ils constituent un des traits les plus caractéristiques du Karst ; tous les calcaires de cette région en sont criblés, surtout les calcaires crétacés. Les dimensions des entonnoirs varient entre des limites très étendues ; on en voit beaucoup qui n'ont que quelques mètres de diamètre, avec une profondeur insignifiante ; d'autres atteignent 60 à 80 mètres de diamètre, comme on le voit fréquemment dans les environs de Trieste ; on en cite enfin qui ont 400 mètres et même 800 mètres de diamètre (*).

Leur fond est parfois formé de blocs incohérents de calcaire ; le plus souvent il est recouvert d'un limon rouge, qui recouvre les blocs et remplit leurs interstices. Dans beaucoup de parties de l'Istrie, le fond des entonnoirs est le seul endroit où il existe un peu de terre végétale ; c'est un

(*) Lorenz, *Jarhbuch der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1859.

singulier spectacle que celui de ces plateaux désolés, criblés de cavités cratériformes de profondeurs très différentes a fond desquelles végètent de misérables cultures. Le Karst n'a cependant pas toujours été privé de végétation comme il l'est aujourd'hui ; il a possédé des forêts qui n'ont disparu qu'à la fin du moyen âge. La destruction en a été opérée par les Vénitiens, qui prenaient sur le littoral de l'Istrie et de la Dalmatie les bois nécessaires à leur marine et à leurs constructions ; elle a été achevée par les troupeaux de chèvres et de moutons qui parcourent le pays. Des tentatives de reboisement ont été faites en plusieurs points elles ont bien réussi partout où on a eu soin de protéger convenablement les plantations contre les troupeaux et l'on peut voir des régions où les entonnoirs typiques, à parois pierreuses, sont complètement recouverts de sapins bien développés. On pourra arriver ainsi à reconstituer progressivement une mince couche de terre suffisante pour entretenir convenablement la végétation forestière, et à rendre au Karst son ancien aspect.

Le mode de formation des entonnoirs du Karst a donné lieu à des controverses assez vives. Il convient d'abord d'écarter l'action des eaux courantes ; elle est incompatible avec la formation de cavités à parois anguleuses et d'une étendue quelquefois très considérable. Il faut en outre remarquer que les cours d'eau font défaut dans cette région et que le phénomène en question s'est produit sur les calcaires partout où ils se trouvaient, sur les pentes des montagnes, à leur sommet même, sans s'exercer en aucune manière sur les roches d'autre nature. L'action glaciaire doit être exclue également, car les entonnoirs abondent en Bosnie, où les traces d'anciens glaciers font absolument défaut (*).

(*) E. von Mojsisovics, *Jahrbuch der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1880, p. 212.

Il est évident que la corrosion chimique a joué un rôle considérable dans la formation des entonnoirs du Karst, mais en a-t-elle été l'origine exclusive, comme le veut M. E. von Mojsisovics(*), qui rapproche à ce point de vue certaines régions du Karst des *Karrenfelder* des Alpes, ou bien ne joue-t-elle qu'une rôle subordonné à celui des effondrements amenés par l'extension des cavités souterraines, si nombreuse dans les grands massifs calcaires (**).

A notre avis, ces deux ordres de phénomènes sont intervenus dans la formation des entonnoirs du Karst, et c'est là ce qui a donné à ceux-ci une allure toute différente de celle des *puits* de la craie du nord de l'Europe. Ce rôle joué par les éboulements dans la production de certains entonnoirs ne peut être mis en doute ; en effet, il existe une correspondance incontestable entre les effondrements constatés dans certaines grottes, la *Planina-Hœhle*, en Carniole, par exemple, et des dépressions importantes de la surface. Les effondrements de ce genre continuent à se produire de nos jours et l'on constate encore de temps à autre l'apparition de nouveaux entonnoirs à la surface du Karst.

Mais d'autre part il ne faut pas perdre de vue que la formation des grottes elles-mêmes ne peut être complètement expliquée que par la destruction du calcaire par l'action mécanique et surtout chimique des eaux qui y circulent ; les effondrements ne constituent donc qu'une phase spéciale du phénomène de corrosion. Toute la question est de savoir si ce phénomène s'est exercé principalement dans le sens horizontal sur le trajet des cours d'eau souterrains, si nombreux dans le Karst, ou dans le sens vertical, suivant le parcours direct des eaux infiltrées. Or, c'est ce second mode d'action qui nous paraît avoir joué le rôle le plus

(*) *Jarhbuch der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1880, p. 211.
(**) Dr E. Tietze, *ibid.*, p. 742.

important, d'après les observations faites dans les travaux souterrains de Carpano.

Dans cette mine en effet on n'a rencontré aucun cours d'eau souterrain ni aucune série de cavités qui puisse en faire admettre l'existence antérieure. Le prolongement des entonnoirs observés à la surface correspondait souvent à des cavités irrégulières, sinueuses, à parois corrodées dans certains endroits et couvertes ailleurs de stalactites ; ces cavités atteignent parfois des dimensions si considérables, que l'un d'elles, rencontrée en 1863, occasionna une véritable inondation des travaux inférieurs de la mine par l'eau qu'elle renfermait ; elle n'avait évidemment pas d'écoulement latéral largement ouvert et ne pouvait se vider que par de simples fissures du calcaire.

D'autres fois, les entonnoirs sont prolongés par des colonnes de blocs calcaires incohérents, dont les vides sont plus ou moins complètement remplis par un limon rouge ou jaune. Le remplissage des vides est toujours partiel, car l'eau et l'air peuvent circuler facilement au travers des blocs; un des entonnoirs qui viennent ainsi aboutir dans les travaux donne lieu à une entrée d'air très active qui exerce une influence sensible sur l'aérage général.

En cas de grande pluie, tous les entonnoirs déversent presque immédiatement dans la mine l'eau tombée à la surface ; il faut alors évacuer momentanément les travaux inférieurs qui se remplissent en fort peu de temps, malgré leur étendue considérable. Il résulte des observations précédentes que l'éboulement de la voûte des grottes du Karst ne permet pas d'expliquer la formation de la plupart des entonnoirs de cette région ; l'origine de ceux-ci nous paraît due à la série suivante de phénomènes. Les calcaires du Karst sont généralement durs et à peu près imperméables à l'eau tant qu'ils sont intacts ; mais ils sont coupés par un grand nombre de fissures irrégulières. Aussitôt qu'ils ont été émergés, les eaux pluviales, chargées d'acide car-

bonique, ont commencé à attaquer leur surface, formant ainsi le dépôt superficiel de limon rouge décrit plus haut ; les eaux s'écoulaient ensuite par les fissures du terrain, sans s'être saturées de carbonate de chaux pendant leur rapide passage dans la zone superficielle. Elles ont travaillé constamment ainsi à élargir les fissures qu'elles suivaient et les ont transformées en canaux sinueux, présentant une tendance à s'étendre horizontalement à la hauteur du niveau d'eau général de la région. Lorsque les fissures étaient peu nombreuses et le calcaire solide, cet état de choses a pu continuer jusqu'à notre époque. Les canaux souterrains débouchent alors à la surface par des ouvertures insignifiantes, recouvertes ordinairement par le limon rouge. Mais lorsque les fissures étaient nombreuses et rapprochées, les blocs isolés par la corrosion et restés longtemps reliés les uns aux autres par de minces arrêtes de calcaire ont fini par se tasser et par produire à la surface un effondrement plus ou moins important. L'effet de cet effondrement a été de concentrer de plus en plus l'action des eaux pluviales, amenées rapidement au fond de l'entonnoir. La végétation développée tout particulièrement sur le limon rouge qui occupait le fond de la cavité, exagérait la proportion d'acide carbonique contenue dans ces eaux et par suite leur action sur le calcaire sous-jacent. On s'explique ainsi que la plupart des entonnoirs se terminent immédiatement par un entassement de blocs, mélangés de limon rouge, alors que dans les zones profondes, où l'action dissolvante de l'eau, partiellement saturée, a été moins intense, et s'est répandue sur une section horizontale plus grande, on retrouve encore de vastes cavités où, par le développement d'une action inverse, les stalactites ont fini quelquefois par se déposer.

En résumé la dissolution du calcaire par les agents atmosphériques suivant certaines lignes de fissures, combinée avec l'effondrement ultérieur des blocs incohérents isolés

par la corrosion, nous paraît être la cause principale de la formation des entonnoirs du Karst. Nous ne voulons pas nier cependant l'influence qu'ont pu avoir sur leur production les éboulements du plafond des grandes grottes, ouvertes par l'action à la fois chimique et mécanique des cours d'eau, tels que la Poik à Adelsberg, la Reka à Saint-Canzan, etc. Mais les cours d'eau et les grottes qui leur servent d'écoulement ne sont pas très nombreux dans le Karst, alors que les entonnoirs s'y montrent en quantité prodigieuse et en couvrent littéralement certaines régions. Cette disproportion de la cause à l'effet, jointe aux observations indiquées ci-dessus, nous paraît une raison suffisante pour ne pas admettre l'hypothèse de l'effondrement sans la modifier dans le sens que nous avons indiqué.

Une dernière preuve et des plus concluantes, en faveur de l'origine atmosphérique directe des entonnoirs, c'est que les travaux de Carpano n'en ont rencontré aucune trace dans la partie du gîte qui s'étend au-dessous des marnes nummulitiques et des grès du flysch; le phénomène ne s'est manifesté que là où le calcaire est apparent à la surface.

Les entonnoirs du Karst présentent, avec les *puits* de la craie blanche, des analogies et des différences. C'est la même forme générale, évasée à la partie supérieure et aboutissant à la partie inférieure à des fissures insignifiantes, où toute trace de corrosion finit par disparaître à une certaine distance de l'excavation principale; dans les deux cas, tout ou partie du vide produit est rempli d'argile ou de limon rouge et de débris de la roche encaissante n'ayant subi aucun transport. Seulement les *puits* de la craie ont une forme beaucoup plus allongée que les entonnoirs du Karst et ne présentent pas à leur partie inférieure de cavités béantes; la corrosion directe, venue du haut, y a exercé évidemment un rôle prédominant, et l'influence des éboulements postérieurs s'y est faiblement manifestée. La per-

méabilité de la craie blanche et la régularité de ses assises devaient en effet donner aux phénomènes de dissolution par les agents atmosphériques un caractère tout différent de celui qu'ils ont pris dans le Karst, où ils s'exerçaient sur des calcaires durs, souvent cristallins, mais fissurés dans toutes les directions.

Affleurements du centre de l'Istrie. — Le terrain éocène forme en Istrie deux bassins allongés dans la direction du nord-est au sud-ouest, au milieu des calcaires à rudistes qui constituent la plus grande partie de la surface du pays. L'un coupe l'Istrie dans sa partie moyenne. Très étroit à Albona, il va en s'éloignant vers l'ouest et atteint sa plus grande largeur sur la côte de l'Adriatique; l'autre, situé au nord, est beaucoup moins large, mais s'allonge jusqu'en Dalmatie. Le centre de ces bassins, occupé par les marnes nummulitiques et les grès du flysch, contraste par sa fertilité relative avec la stérilité des régions calcaires. A la base du terrain éocène on peut suivre l'affleurement des couches de Cosina et des veines charbonneuses qu'elles renferment ; mais la puissance de l'ensemble de ces couches et du combustible contenu varie beaucoup d'un point à l'autre.

A Pisino, tout l'étage Liburnien n'a pas plus d'une dizaine de mètres d'épaisseur, ainsi qu'on peut le constater dans la gorge étroite où s'engouffre la Foiba ; le charbon y fait défaut, mais on y a trouvé des empreintes végétales fort bien conservées (*).

Près de Pinguente, les affleurements charbonneux sont très nombreux ; ils ont donné lieu à des recherches qui n'ont abouti à aucun résultat pratique ; il en a été de même aux environs de Cosina, localité voisine de Trieste, où M. Stache

(*) G. Stache, *Verhandlungen der k. k. Geolog. Reichsanstalt*, 1872, p. 219.

a pris le type d'une de ses divisions stratigraphiques.

A mesure qu'on se rapproche de Trieste, l'étage Liburnien, très aminci à Pisino, reprend de la puissance; il atteint son maximum vers Obcina, Trebich et Divazza. Dans cette dernière localité, à l'extrémité ouest du bassin tertiaire situé au nord de l'Istrie, l'étage paraît avoir 400 mètres d'épaisseur. Il commence par des alternances de bancs à rudistes et de bancs à miliolites; puis viennent les couches de Cosina, remplies de sporanges de *Chara* et contenant de nombreuses veinules de charbon; l'étage se termine par les calcaires à alvéolines et à nummulites, qui se présentent avec leur type ordinaire. Le conglomérat nummulitique, situé à la base du flysch, est très développé dans cette région.

Gîtes de Brittof et Skofle. — A quelques kilomètres à l'est de Divazza, les couches inférieures à miliolites sont remplacées, comme à Carpano, par une formation d'eau douce, qui contient deux ou trois couches de combustible.

Ces couches affleuraient sur les rives escarpées de la Reka; aussi ont-elles été attaquées depuis longtemps et ont-elles donné lieu, de 1745 à 1804, à une exploitation assez importante qui paraît avoir été arrêtée par l'affluence des eaux, jointe à des circonstances politiques et économiques très défavorables. On a essayé de reprendre l'exploitation vers 1858, mais cette tentative mal dirigée n'a abouti à aucun résultat.

Les couches exploitées à Brittof et à Skofle avaient, comme celles de Carpano, une épaisseur assez irrégulière; celle du mur variait entre $0^m,70$ et $1^m,90$; la couche intermédiaire, plus régulière, avait en moyenne $0^m,85$ de puissance; enfin la couche du toit présentait $0^m,80$ à $0^m,90$ de charbon. Ces couches sont encaissées dans un calcaire dur, où abondent les gastropodes d'eau douce, mais où les empreintes végétales font défaut.

La direction du faisceau charbonneux est du nord-est au sud-ouest ; son plongement est de 15° à 25° vers le sud-est. La région exploitée se trouvait ainsi dans un pli à angle droit sur la direction générale des couches, s'étendant sur deux à trois kilomètres en direction. De part et d'autre la stratification est dirigée du nord-ouest au sud-est et plonge vers le sud-ouest, sous un angle de 45° à 55°.

L'étendue de la région exploitable reste jusqu'ici à peu près indéterminée, en direction aussi bien qu'en aval pendage. Les anciens travaux n'avaient pas rencontré de resserrement analogue à celui de Carpano, et on ne sait à quelle profondeur les veines de charbon peuvent s'étendre sous le vaste bassin éocène, long d'une trentaine de kilomètres et large d'une dizaine, qui alimente la Reka.

Propriétés et composition chimique des combustibles. — Les combustibles exploités à la base des couches de Cosina ont en partie les caractères des houilles grasses à longue flamme ; ils sont noirs, à cassure conchoïde et un peu grenue, sans clivages distincts ; leur poussière est brun foncé. Ils sont peu friables et donnent une proportion de gros qu'on peut évaluer à 60 p. 100 en moyenne.

Au feu ils se boursouflent beaucoup, en dégageant une odeur assez désagréable, analogue à celle des lignites ; le coke qu'ils donnent au creuset est très boursouflé, mais celui qu'ils produisent dans les fours spéciaux est assez solide, comme on l'a vérifié à Wittkovitz pour les charbons de Carpano, et à Skofle même pour les charbons de cette localité.

Le coke obtenu à Skofle était d'une dureté remarquable ; il contenait peu de cendres, mais sa teneur en soufre était malheureusement beaucoup trop élevée, parce qu'il pût être employé avantageusement dans la métallurgie.

L'analyse immédiate vient confirmer les indications don-

nées par la pratique et doit faire classer les charbons de Carpano et de Brittof parmi les houilles grasses à longue flamme ; l'analyse élémentaire donne au contraire des résultats difficiles à rapprocher de ceux obtenus sur les autres combustibles. On peut le voir par la série ci-dessous, due à M. Edmond Hanke, de Wittkovitz :

	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5
Eau hygrométrique	1,46	1,70	1,57	1,53	1,56
Carbone	63,69	59,58	64,26	65,86	63,35
Hydrogène	5,03	4,60	4,85	4,84	4,83
Oxygène	13,12	12,36	13,03	11,45	12,49
Azote	1,79	1,18	1,04	1,22	1,31
Soufre	7,53	7,33	8,53	8,93	8,08
Cendres	8,84	14,96	8,29	7,68	9,94
	101,46	101,71	101,57	101,01	101,56
Calories dégagées	6 220	5.779	6.207	6.415	6.155
Eau vaporisée par kilogramme	9,77	9,07	9,74	10,07	9,66
Rendement en coke	55,07 p. 100	58,10 p. 100	52,88 p. 100	58,07 p. 100	56,03 p. 100

N° 1. — Couche inférieure, niveaux inférieurs de l'exploitation.
N° 2. — — — échantillon altéré par l'action atmosphérique.
N° 3. — Couche supérieure.
N° 4. — — —
N° 5. — Moyenne générale des charbons de Carpano.

Un essai fait à l'Institut géologique de Vienne avait donné les résultats suivants :

Eau hygrométrique	0,4		
Matières volatiles	34,0	Gaz combustible.	14,6
		Goudron	19,4
Coke	65,4	tenant 6,3 p. 100 de cendres.	
	99,8		

Ces résultats se rapprochent beaucoup de ceux que donnent les combustibles de Brittof. Nous avons trouvé, en effet, la composition suivante pour deux échantillons provenant de cette localité :

	n° 1	n° 2
Eau hygrométrique. . .	2,70	1,20
Matières volatiles. . . .	30,00	29,41
Carbone fixe.	65,20	66,64
Cendres	2,10	2,75
	100,00	100,00

L'échantillon n° 1 était un morceau choisi, extrait depuis longtemps et conservé dans un endroit sec ; le n° 2 avait, au contraire, séjourné une quinzaine d'années au moins sur la halde. Leur composition est néanmoins peu différente, ce qui prouve que ce combustible en fragments d'un certain volume ne s'altère que fort peu à l'air.

Le pouvoir calorifique de l'échantillon n° 1 était de 6,500 calories, d'après des essais faits par fusion avec la lithage.

La teneur en soufre de cet échantillon est de 9, 80 p. 100; cette proportion considérable ne tient pas à la présence de pyrites, car les cendres présentaient la composition suivante :

Silice	1,16
Sesquioxyde de fer.	0,42
Carbonate de chaux	0,38
Carbonate de magnésie.	0,10
	2,10

La proportion de fer indiquée ci-dessus ne correspond qu'à 0,34 p. 100 de soufre sous forme de pyrite, ce qui est bien peu de chose par rapport à la teneur totale.

D'autre part, le combustible porphyrisé n'a pas abandonné autre chose au sulfure de carbone que des traces de matières bitumineuses ; le soufre qu'il contient n'est donc pas à l'état natif, et il faut supposer qu'il est à l'état de combinaison organique. Un fait assez remarquable vient à

l'appui de cette hypothèse ; l'échantillon n° 1 pulvérisé et conservé pendant deux ans dans un flacon bouché avec un bouchon de liège a perdu la plus grande partie du soufre qu'il renfermait, car des essais réitérés ne nous y ont plus qu'indiqué que 1,91 p. 100 de soufre. Etonné de cette variation, nous avons broyé un autre fragment de l'échantillon primitif et nous avons fait un dosage de soufre aussi exact que possible. Nous avons trouvé 9,27 p. 100 de soufre, ce qui vient confirmer complètement les résultats obtenus antérieurement.

Il semble que le soufre se soit dégagé sous forme d'une combinaison volatile ; cependant aucun dégagement gazeux n'a jamais été observé dans les exploitations d'Albona ni dans celles de Brittof. Le charbon ne prend jamais feu spontanément ni dans la mine, ni à l'intérieur ; on a pu conserver pendant des années sur le quai d'embarquement de Carpano des tas de plusieurs milliers de tonnes de menu sans y observer aucun symptôme d'échauffement. Ce fait, rapproché de la composition chimique indiquée plus haut, ne constitue pas un des caractères les moins singuliers du combustible en question.

La présence du soufre à l'état de combinaison organique a été déjà mise hors de doute dans le cas de certaines matières organiques fossiles. D'après Percy (*), certains lignites miocènes de la Nouvelle-Zélande tiennent 2,50 p. 100 de soufre avec une quantité de fer insignifiante. Le bitume de Trinidad, d'après M. Cumenge (**), contient 9,95 p. 100 de soufre combiné. D'après des indications qui nous ont été données par M. Jungfleisch, le succin contiendrait en moyenne 3 p. 100 de soufre, bien que la proportion de matières minérales contenues soit insignifiante.

Nous avons dit plus haut qu'on avait fabriqué à Skofle,

(*) *Treatise of Metallurgy, Fuel*, p. 344.
(**) *Annales des mines*, 8e s., t. II. p. 179.

il y a une vingtaine d'années, du coke métallurgique ; nous en avons analysé un échantillon qui contenait :

Eau hygrométrique.	3,61
Matières volatiles.	12,13
Carbone fixe.	85,96
Cendres.	8,30
	100,00

Ce coke avait été fabriqué avec du tout-venant, moins pur que les échantillons analysés ; il renfermait 11,81 p. 100 de soufre. Il est bien difficile de dire sous quelle forme ce métalloïde s'y trouvait ; il ne paraît pas être sous forme de sulfure de calcium, car le coke pulvérisé et traité par l'acide chlorhydrique étendu ne donne lieu qu'à un dégagement à peine sensible d'hydrogène sulfuré.

DÉTAILS DIVERS SUR L'EXPLOITATION

A Carpano, seul point où l'exploitation ait des traditions régulières, on procède par tailles chassantes, comprises entre deux niveaux distants d'une dizaine de mètres. On n'emploie aucun boisage ; on se contente d'empiler régulièrement les nerfs calcaires qui se rencontrent en assez grande quantité dans la couche exploitée et d'en faire des piliers rectangulaires. Le toit est d'une telle solidité que le tassement a été jusqu'ici insignifiant ; on peut encore pénétrer dans la plupart des vieux travaux remontant à un demi-siècle et davantage.

Une autre preuve de cette solidité du toit, c'est qu'on a pu ouvrir une chambre souterraine dont les dimensions horizontales sont de 20 mètres sur 15 en moyenne pour y placer une machine d'épuisement, une machine d'extraction et leurs chaudières, sans qu'aucun mouvement du toit soit manifesté.

Les anciens travaux de Carpano aboutissaient au jour par

des galeries d'écoulement ; les travaux modernes ont atteint une profondeur d'une cinquantaine de mètres au-dessous de la plus basse de ces galeries (Clemens Stollen). L'épuisement n'est pas aussi important qu'on aurait pu le supposer d'après la distance assez médiocre qui sépare l'Arsa Canal des travaux inférieurs à son niveau et d'apres la perméabilité ordinaire du calcaire à hippurites. Comme nous l'avons déjà dit, les grandes venues d'eau arrivent directement de la surface par l'intermédiaire des entonnoirs superficiels.

Les travaux de la mine Vienes sont de date récente et n'aboutissent au jour que par des puits.

La production totale des deux mines réunies est en moyenne de 50 à 60 mille tonnes par an ; elle trouve son débouché sur les côtes de l'Adriatique, à Fiume, Pola, Trieste, Venise, Ancône, etc. Le prix de vente sous vergues est en moyenne de 17 à 18 francs la tonne ; les charbons du Pays de Galles arrivent dans les ports de la région au prix de 27 à 28 francs. En tenant compte du fret jusqu'aux lieux de consommation et de la différence de qualité, on voit que la lutte est difficile à soutenir pour les charbons d'Albona ; aussi la production des mines de cette localité est-elle souvent limitée par le défaut des débouchés. Les gisements de Brittof et Skofle auraient été à cet égard dans une situation plus favorable, car la ville de Trieste, distante de moins de vingt kilomètres, aurait pu absorber la plus grande partie de leur production ; mais l'importance de l'épuisement à effectuer et l'enchevêtrement des concessions accordées dans ces deux localités voisines y ont empêché jusqu'ici toute exploitation sérieuse.

DISCOURS
PRONONCÉS AUX FUNÉRAILLES
DE M. L. GRUNER,
INSPECTEUR GÉNÉRAL DES MINES EN RETRAITE,

Le 31 mars 1883.

DISCOURS DE M. G. DE NERVILLE,
Vice-président du Conseil général des mines,

AU NOM DU CORPS DES MINES.

Messieurs, je viens, au nom du Corps des Mines, adresser un suprême adieu à l'ingénieur éminent qu'il vient de perdre, à l'un de ses membres qui ont le plus illustré et dont le souvenir lui restera le plus cher.

Dans la brillante carrière que Louis Gruner a parcourue, l'homme d'un grand caractère a constamment doublé l'ingénieur et le savant. A la fois métallurgiste consommé, chimiste habile et patient, géologue du sens le plus pratique, professeur émérite, exploitant plein de sûreté, il a conquis partout, et surtout dans ce bassin de Saint-Étienne qui a été le siège de ses principaux travaux, je pourrais dire de sa vie militante, cette grande autorité qui le suivait comme une auréole, cette vénération si méritée qu'il inspirait à tous ceux qui l'approchaient, ingénieurs et ouvriers.

Messieurs, je n'entreprendrai pas d'énumérer, en ce moment, les vastes travaux qui ont rempli la vie de Gruner. Ils ont commencé, je puis dire ils ont surgi dès qu'il a été envoyé, au sortir de l'école, sur le sol minier du départe-

ment de la Loire. Ils se sont continués sans interruption pendant près de cinquante ans ; il les poursuivait encore, il y a huit jours, avec une ardeur juvénile, dans le laboratoire de son fils, à Beaucaire, quand la mort est venue le surprendre.

Les *Annales des Mines* sont pleines de ses mémoires et de ses notices sur les questions les plus intéressantes et les plus variées ; études journalières et de détail qui ne l'ont pas empêché de trouver le temps de nous léguer un véritable monument : sa *Description du bassin houiller de la Loire*, dont le monde industriel aussi bien que le monde savant ne sauraient lui être trop reconnaissants.

La *houille*, la *fonte* et l'*acier*, ces éléments de toute industrie, ont été l'objet principal de ses études de prédilection et le sujet de ses recherches les plus approfondies. Il s'est toujours proposé pour but d'étendre le champ des découvertes de la houille exploitable, dans les bassins qu'il explorait et dont il savait si bien analyser et en quelque sorte disséquer le terrain ; à peine ai-je besoin de rappeler avec quel bonheur il y a souvent réussi. En même temps, il a été l'un des principaux et des plus ardents pionniers de cette révolution métallurgique en partie déjà accomplie, qui tend à substituer partout à l'emploi du fer celui de l'acier obtenu par des procédés de plus en plus économiques.

Son passage à l'École des Mines de Paris comme professeur de métallurgie et bientôt après comme inspecteur des études, en le plaçant sur un plus grand théâtre et en lui créant de nouveaux devoirs, et de nouvelles affections aussitôt adoptées, l'a à peine séparé de cette autre et nombreuse phalange d'ingénieurs qu'il laissait dans le bassin de Saint-Étienne et dont il est toujours resté comme le chef vénéré.

Au Conseil général des Mines qu'il a présidé sept ans, où l'ingénieur éminent avait de fréquentes occasions de se

manifester, où son tact administratif et la fermeté de ses avis étaient de règle habituelle, nous avons souvent éprouvé quelle source de lumières nous devions à sa vaste science et à sa longue pratique des affaires, pratique toute spéciale qui lui venait de ses travaux si multipliés au contact des grandes industries et des grandes exploitations des mines. Quand l'heure de la retraite a sonné pour lui, et quand nous avons vu, avec les plus sincères regrets, disparaître de notre Conseil cette grande figure dont l'austérité était tempérée par la douceur et la bienveillance, nous avons tous compris que nous venions de perdre l'un de nos guides journaliers, le plus constant et le plus sûr.

La retraite qui nous l'enlevait n'a fait que lui donner l'entière disposition d'un temps précieux pour la continuation de ses travaux. Heureux s'il eût pu les terminer! Il exprimait naguère cette pensée d'une manière touchante dans la préface du tome II de son *Traité de métallurgie générale*, en demandant à Dieu « de lui prêter force et vie pour achever son œuvre ». Son vœu n'a pas été exaucé; mais il laisse un fils, métallurgiste distingué, qu'il avait depuis longtemps associé à ses études et qui pourra accomplir cette pieuse mission.

Pour nous, Messieurs, nous ne perdrons jamais de vue l'exemple que nous laisse cette existence d'honnête homme, de savant et d'infatigable travailleur.

Adieu, Gruner, ou plutôt au revoir!

DISCOURS DE M. LAN,

Ingénieur en chef des mines, professeur à l'École des mines,

AU NOM DE L'ÉCOLE DES MINES.

L'ami que nous pleurons s'est doucement éteint, alors

que, confiants dans sa verte vieillesse, nous espérions le voir longtemps encore parmi nous! — Son esprit était si jeune et son cœur si vaillant! Il semblait défier les atteintes de l'âge! Debout, toujours ardent au travail, au devoir; — travail, devoir! deux mots qui résument la vie du regretté Louis-Emmanuel Gruner, de cet homme de bien que Dieu nous a repris!

D'origine suisse, admis, à ce titre, à l'École polytechnique, en 1828, il en sortit, l'un des premiers de sa promotion, élève-ingénieur des mines.

Après deux années d'études, il quitta l'École des Mines, pour voyager en Allemagne, terre classique de l'art minier; il y demeura dix-huit mois, se préparant patiemment aux services qu'il allait rendre, comme ingénieur professeur à l'École de Saint-Étienne, d'abord en service ordinaire, bientôt après chargé du cours de chimie et de métallurgie, qu'il garda pendant douze années. — Douze années (de 1835 à 1847) fructueusement employées, car dès 1834 et 1835 les *Annales des Mines* publiaient les notes et mémoires de son voyage en Allemagne; — et, dans les volumes suivants, 1836, 1839, 1840, 1841, 1846, il traitait dans le même recueil les sujets les plus divers.

En 1841 parut son premier travail géologique sur le département de la Loire, origine de l'œuvre la plus considérable peut-être de M. Gruner, œuvre en deux parties: l'une, la *Description géologique de la Loire*, terminée en 1857; l'autre, la *Description du bassin houiller de la Loire*, résumée déjà dans une première publication en 1847, puis lentement complétée par près de quarante ans de travail, pour faire, texte et atlas, un magnifique ouvrage, publié seulement l'an dernier, mais depuis longtemps déposé aux bureaux du service des mines de Saint-Étienne, précieuses archives pour les exploitants de ce bassin.

En même temps qu'il poursuivait ces premiers travaux, M. Gruner allait en aborder d'autres: ingénieur en chef

à Poitiers, en 1847, il étudia les bassins houillers du département de la Creuse, qui firent l'objet d'un ouvrage spécial, paru en 1868. Durant son séjour à Poitiers (de 1847 à 1852), à la suite de diverses explorations, il écrivait la *Classification des roches et filons* du plateau central, sujet qu'il traita plus tard en détail devant la *Société géologique de France* (1865) et devant la *Société de Lyon* (1855-56 et 1857).

La haute notoriété que M. Gruner s'était acquise dans le département de la Loire le désignait naturellement pour le poste de directeur de l'École de Saint-Étienne : il y fut appelé en 1852.

Les six années qu'il y passa (1852-1858) furent comme le départ d'une carrière nouvelle : ses remarquables travaux géologiques, tout en l'occupant toujours, ne l'absorbaient plus exclusivement. L'École de Saint-Étienne, sous la direction d'un pareil chef, au milieu d'un monde sympathique d'ingénieurs, ses anciens élèves pour la plupart, prospérait et grandissait. L'ancien professeur de métallurgie se recueillant dans le laboratoire, où il avait entrevu plus d'un problème à résoudre, reprit d'abord ses premières études sur les combustibles. En 1852, 1854 et 1855 paraissaient dans les *Annales des Mines* les résultats de ses recherches sur la *Classification des houilles de la Loire et de la Creuse.* A cette époque aussi les progrès de la grande industrie faisaient présager des transformations prochaines dans l'art des mines et plus encore dans l'art métallurgique. C'est alors que M. Gruner, avec quelques collaborateurs dévoués, eut la pensée de fonder la *Société de l'industrie minérale*, société d'ingénieurs réunis dans le louable but de s'exciter mutuellement au progrès par des assemblées et par des publications périodiques. Le succès de cette création s'est affirmé rapidement : la Société a grandi et tient aujourd'hui une place dont l'honneur revient pour la majeure part à son fondateur : — n'a t-il pas as-

suré ses premiers pas, en y publiant ses propres travaux de 1855 à 1858, et en la soutenant de ses conseils, après avoir quitté Saint-Étienne pour venir occuper la chaire de métallurgie à l'École de Paris (1858) ?

De ce moment datent ses travaux métallurgiques les plus importants. — Après une série nombreuse de mémoires sur toutes les questions sidérurgiques, qui, depuis 1858 ou 1860, préoccupaient les savants autant que les industriels, — *fabrications nouvelles de l'acier* —, *déphosphoration des fontes, aciers et fers* —, *emplois des gaz et des hautes températures* etc., — après divers mémoires sur les métallurgies du plomb et du cuivre, M. Gruner tint à laisser de ses études métallurgiques, comme il l'avait fait de ses études géologiques, un témoin plus marquant que des notes et mémoires disséminés dans des recueils périodiques : en 1872, l'année même où il quittait les fonctions de professeur et d'inspecteur de l'École des Mines pour prendre le poste le plus élevé du Corps des Mines, la vice-présidence du Conseil général, il entreprenait la préparation d'un grand *Traité de métallurgie*. Sans que cette œuvre nouvelle l'ait un seul instant détourné des hautes fonctions qu'il remplit jusqu'à l'heure de sa retraite, en 1879, il faisait paraître le premier volume de ce traité en 1875, puis la moitié du second en 1878 ; la suite était en préparation quand la mort est venue le surprendre.

A cette rapide et incomplète esquisse des travaux de notre chef regretté, est-il besoin de rien ajouter pour montrer à quel point il aima le travail ? — Mais comment ne pas rappeler que cette tâche accomplie, tout énorme qu'elle paraisse, ne suffisait pas à occuper sa vie ? — Les aptitudes merveilleuses de sa forte intelligence n'étaient pas les seuls attraits de cette nature d'élite : sous les manifestations de l'esprit, on sentait, chez lui, toujours battre le cœur ! Sévère à lui-même, bon, indulgent aux autres, on peut dire qu'il n'aspirait qu'à rendre service.

Quel appui, quels conseils il a donnés tantôt aux ingénieurs, à ses anciens élèves, tantôt aux exploitants, aux industriels ! Les sociétés nombreuses qui ont fait appel à son expérience, à ses lumières, ne savaient souvent qu'admirer le plus, de son dévouement, de son intelligence, de sa modestie ou de son désintéressement !

Voilà l'homme que nous avons perdu, Messieurs : perte irréparable, vide immense, que sentiront cruellement tant d'ingénieurs formés à son enseignement, tant de personnes qu'il a obligées et plus encore les collaborateurs qui, comme nous, ont pu l'approcher de plus près.

Je viens, au nom de tous ceux-là, au nom de l'École des Mines, qui lui doit tant, dire un suprême adieu au Maître, à l'ami que nous avons tant aimé ! — Et je viens saluer sa famille éplorée. Ah ! si j'osais soulever le voile de son foyer domestique, de sa vie chrétienne, sous quels traits touchants vous verriez reparaître cet homme excellent ! Quels pleurs vous mêleriez aux pleurs de sa veuve et de ses enfants !

Pauvre famille ! Dieu t'a pris ton chef vénéré, mais tes pasteurs te l'ont dit : regarde au ciel ! Le juste que tu pleures est mort pour la terre ; il vit dans le Seigneur !

DISCOURS DE M. FÉLIX LE BLANC,

AU NOM DU CONSEIL DE LA SOCIÉTÉ D'ENCOURAGEMENT POUR L'INDUSTRIE NATIONALE.

La mort qui vient de frapper l'homme éminent que nous accompagnons à sa dernière demeure, atteint cruellement la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. Louis Gruner, inspecteur général des mines en retraite, faisait partie, depuis 1872, du Comité des arts chimiques du con-

seil de cette Société. Il était l'un de ses membres les plus assidus et son concours, en raison de sa haute compétence, particulièrement dans les questions de chimie et de métallurgie, était hautement apprécié. La bienveillance de son caractère, si élevé et si honorable, lui avait, comme partout, gagné les cœurs.

Organe du Comité des arts chimiques de la Société, je viens offrir, en son nom, sur cette tombe, un témoignage de respect et d'affection pour la mémoire de notre vénéré collègue.

Le conseil se rappelle l'intérêt de ses communications, faites, à la fois, avec simplicité, clarté et précision.

Gruner nous avait exposé la substance de ses publications sur le pouvoir calorifique et la classification des houilles, sur la chaleur absorbée, aux températures élevées, par la fonte, les laitiers, etc.

En 1872, Gruner a publié un mémoire important, relatif à l'action de l'oxyde de carbone, à diverses températures, sur le fer métallique et ses oxydes ; il vérifia et expliqua les faits avancés par M. Bell. Ce travail, présenté à l'Académie des sciences, a été l'objet d'un rapport très favorable de M. Henri Sainte-Claire Deville et l'Académie ordonna l'insertion du mémoire de Gruner dans le *Recueil des savants étrangers*.

A la suite de quelques doutes soulevés sur l'existence, en France, de gisements de minerais de fer propres à la fabrication de l'acier, Gruner exposa que la France possédait de nombreux gisements de minerais, qui pouvaient parfaitement convenir à cette fabrication.

En 1873, Gruner exposa les résultats de ses travaux sur la sidérurgie, consignés dans un grand mémoire publié dans les *Annales des Mines*. Ce mémoire, l'un des plus importants sur la matière, depuis les mémorables travaux d'Ebelmen, constitue, pour ainsi dire, la physique et la chimie du haut-fourneau. Toutes les questions chimiques

y sont savamment étudiées, ainsi que les questions thermiques qui s'y rattachent.

Les collègues de Gruner à la Société d'encouragement se rappellent avec quelle netteté il nous exposait les essais faits pour *déphosphorer* la fonte dans le convertisseur de Bessemer, en la transformant en acier. Il établissait bien que la déphosphoration n'était pas due, comme le croyait le savant métallurgiste Lowthian Bell, à la haute température exclusivement, mais à l'influence des parois réfractaires calcaréo-magnésiennes, presque exemptes d'alumine et dans lesquelles la silice ne devait pas dépasser une certaine proportion. Dans ces conditions, des fontes, contenant 1, 5 p. 100 de phosphore, pouvaient fournir, finalement, un acier contenant moins d'un millième de phosphore.

Le bulletin de notre Société contient le discours prononcé, en 1878, par Gruner, lors de l'ouverture du Congrès tenu à Paris par la Société de l'industrie minérale, à l'occasion de l'Exposition universelle. On y trouve une revue des progrès de la métallurgie.

Un rapport de Gruner nous a fait connaître les propriétés d'un acier, dans lequel l'analyse lui a révélé la proportion de 8 p. 100 de tungstène. Cet acier, d'une dureté extrême, était fabriqué, en Angleterre, dans le comté de Glocester, par la Société dite *titanique*. (En réalité cet acier ne contenait pas de titane.)

La Société d'encouragement doit encore à Gruner un important rapport sur la fabrication des rails en fer phosphoré, fondu, à Terre-Noire, près Saint-Étienne, sous la direction de M. Euverte.

A la fin de l'année dernière, la Société entendait un très intéressant rapport de Gruner sur la métallurgie du cuivre par l'emploi du convertisseur de Bessemer, en opérant sur le résultat d'une première matte de concentration du minerai. Les sept ou huit opérations, antérieurement pratiquées et consistant en une série de fontes et de grillages succes-

sifs, se trouvent remplacées par une opération unique, pratiquée, aujourd'hui, dans l'usine de Védène (Vaucluse), où M. Manhès applique le traitement au Bessemer. On peut obtenir ainsi, en une seule opération, un produit contenant environ 99 p. 100 de cuivre. Il faut dire que ce résultat n'a été atteint qu'après des changements opérés dans le dispositif du Bessemer ordinaire, notamment en adoptant des tuyères latérales pour l'injection de l'air. Toutes ces circonstances sont savamment exposées dans le rapport de Gruner et il est permis de croire que ses conseils ont été d'un puissant secours au directeur de l'usine de Védène.

Gruner laisse inachevé un important *Traité de métallurgie*, dont le premier volume a été présenté, en 1875, à la Société d'encouragement.

Le 15 janvier dernier, Gruner présentait à l'Académie des sciences un intéressant mémoire sur l'oxydabilité relative des fontes,,des fers et des aciers, sous l'influence de l'air humide ou de l'eau de mer.

Enfin, tout récemment, dans la séance de l'Académie des sciences du 18 février dernier, Gruner faisait présenter le deuxième volume de sa description géologique du bassin de la Loire. Le premier volume avait donné une description générale; le second volume contient la description détaillée du bassin houiller de la Loire, fruit des études prolongées de l'auteur.

En présentant cet ouvrage à l'Académie des sciences, M. Daubrée s'exprimait ainsi :

« Cet ouvrage monumental, qui a occupé M. Gruner
« pendant plus de quarante années, fait connaître, d'une
« manière exacte et approfondie, la constitution du bassin
« houiller de Saint-Étienne. Il jette beaucoup de lumière
« sur des questions importantes de la science, en même
« temps qu'il fournit des données précieuses aux exploitants
« présents ou futurs. »

Nous ne commettrons pas la faute d'ajouter à cette appré-

ciation des travaux géologiques de Gruner, émanant d'un juge aussi compétent.

Tous ceux qui ont connu le savant dont nous déplorons la perte, n'ignorent pas qu'à l'élévation de l'esprit il joignait les qualités qui constituent l'homme de bien et ils comprendront avec quelle émotion nous venons lui dire un dernier adieu, au nom des membres du Conseil d'une Société dont il était l'honneur et la force.

DISCOURS DE M. PARRAN,

Ingénieur en chef des mines, vice-président de la Société géologique de France

AU NOM DE LA SOCIÉTÉ GÉOLOGIQUE DE FRANCE.

Messieurs, la Société géologique de France a été douloureusement émue par la perte de celui qu'elle comptait au nombre de ses membres les plus anciens, les plus éminents, les plus honorés.

Gruner fut reçu en 1848 membre de la Société; il fut appelé en 1865 à l'honneur de la présider.

Notre bulletin renferme de lui d'intéressants mémoires dans lesquels il a consigné non seulement ses propres découvertes, mais encore celles des nombreux ingénieurs dont il avait été le maître, dont il était resté l'ami, et dont il était heureux de communiquer les travaux à la Société.

S'il m'était permis de mêler l'expression de mes sentiments personnels à ceux dont la Société m'a fait l'interprète, je dirais, pour ma part, tout ce que je lui dois; je rappellerais ses conversations instructives dans les salles de collections de l'École de Saint-Étienne. Il y passait de longues heures, employées au classement des matériaux recueillis dans ses courses, et me faisait part, il y a de cela 50 ans, de ses précieuses observations sur les terrains de Saint-

Étienne et du Roannais et sur les gisements métallifères du plateau central, qui ont fait époque dans la science.

Je ne saurais ici donner l'énumération des travaux géologiques de notre confrère. La Société voudra, certainement, en consacrer le souvenir par une notice spéciale, honneur qu'elle réserve à ses membres les plus distingués. Mais je ne puis passer sous silence son ouvrage sur le département de la Loire, véritable modèle d'observation et de classification, dont le temps et les recherches micrographiques récentes n'ont fait que rehausser la valeur.

Les études géologiques, si attachantes pour tous ceux qui sont épris des beautés de la nature, avaient à ce titre, pour notre ami, un charme tout particulier. La foi vivante dont il était profondément pénétré lui faisait admirer l'œuvre du Créateur et le rapprochait de Lui.

Au nom de la Société géologique de France, je dépose sur cette tombe l'expression de nos douloureux regrets.

Cher ami, cher confrère, recevez nos derniers adieux !

DISCOURS DE M. LÉVY,

AU NOM DES ANCIENS ÉLÈVES DE L'ÉCOLE DES MINES DE SAINT-ÉTIENNE.

Messieurs, je viens en ma qualité d'un des plus anciens élèves de Louis Gruner à l'École des Mines de Saint-Étienne, dont il a été professeur, puis directeur, depuis l'année 1835 jusqu'en 1859, et au nom de mes camarades, exprimer ici le profond chagrin que nous éprouvons en perdant un maître vénéré et aimé.

Que d'obligations nous lui devons tous! Avec quelle sollicitude il s'intéressait à l'avenir de ses élèves ! A tous il a tendu une main bienveillante et amicale.

Pour moi, qui ai eu le bonheur de l'approcher bien sou-

vent, j'ai pu apprécier d'une façon toute particulière, l'étendue de ses qualités, la bonté inappréciable de son cœur. Que de fois j'ai eu recours — et tant d'autres avec moi — à ses conseils paternels, dictés par une remarquable connaissance des hommes et des choses et par un jugement d'une rectitude parfaite.

Jamais nous n'avons entendu parler qu'avec une admiration sans mélange de son talent d'ingénieur-professeur et de ses vertus de toutes natures. Peu d'hommes ont su acquérir à un degré semblable le respect, l'affection sincère de leurs élèves et des personnes de tous rangs qui ont eu le bonheur, et, j'ose le dire, l'honneur de le connaître. Tous nous rendons hommage à l'illustre savant qui a fait faire tant de progrès à la métallurgie et qui se dérobait, par une modestie proverbiale, aux justes éloges qui lui étaient décernés.

Les anciens élèves de l'École des Mines de Saint-Étienne lui avaient décerné le plus beau titre d'estime qui fût à leur disposition, en le nommant président d'honneur de leur Société amicale de secours.

Puisse sa famille en pleurs, son cher fils et son digne élève, puiser dans les regrets sincères et unanimes que sa perte fait éprouver à ses très nombreux amis, une consolation à la douleur qui vient de les atteindre d'une façon si cruelle.

Adieu cher, vénéré et aimé maître! Reposez en paix et recevez la récompense qui est due à votre cœur d'or et à vos vertus exemplaires!

NOTE SUR LES EXPLOSIONS DE GRISOU SURVENUES DANS LE BASSIN DU DURHAM PENDANT LES PREMIERS MOIS DE 1882

Par M. C. WALCKENAER, ingénieur des mines.

Le grisou continue d'être très meurtrier en Angleterre. En 1882, dans un espace de deux mois (16 février-19 avril), le bassin houiller du Durham fut le théâtre de trois grandes explosions, qui firent 119 victimes. Ces accidents font l'objet de la présente note. Les renseignements sont puisés dans les rapports officiels présentés au Parlement à la suite des enquêtes, auxquels sont joints, pour les deux derniers accidents, les comptes rendus des interrogatoires des témoins. Les plans annexés sont tirés des mêmes documents.

Je voudrais tenter de donner ainsi une suite à l'étude si éminemment instructive que M. Aguillon a publiée en 1881 (*) sur les explosions de Seaham et de Penygraig.

I

Explosion de Trimdon-Grange.

16 février 1882.

Situation de la mine et couches exploitées. — La houillère de Trimdon-Grange, dont les puits sont à

(*) *Annales des mines*, 7ᵉ s., t. XX, p. 209 et suiv.

quelques centaines de mètres de la station de Trimdon, à environ 17 kilom. et demi de la ville de Durham, se trouve à la limite méridionale du bassin houiller du Durham. Les deux puits, voisins comme c'est presque toujours le cas en Angleterre, servant l'un pour l'entrée, l'autre pour la sortie de l'air, recoupent les quatre couches de charbon suivantes :

Five-quarter seam,	à la profondeur de. . .		110	mètres.
Main coal seam,	—	de. . .	157	—
Low main seam,	—	de. . .	177	—
Harvey seam,	—	de. . .	262	—

Les deux couches inférieures sont actuellement seules en exploitation, et la dernière, où eut lieu l'accident, présente une puissance de 1m,14 de houille.

Travaux dans la couche Harvey. — La Pl. III représente les travaux tels qu'ils étaient dans la couche Harvey lors de l'explosion. Ils comprenaient quatre quartiers d'exploitation ou *districts*, dont un au sud et trois au nord des deux puits. Le plan montre que, tandis que le *district* du Sud ne comprenait guère que des traçages, le travail dans les *districts* du Nord consistait, au contraire, en dépilages que l'on conduisait en revenant vers la galerie maîtresse de chaque quartier. En particulier, dans le quartier septentrional appelé *Pit narrow board district*, les chantiers s'étendaient en ligne droite du nord-ouest au sud-est, suivant une immense face de *long-wall*, de l'espèce dite *long-wall working home* : par conséquent cette longue face d'ouvrage, parallèle à la voie maîtresse du *district*, revenait vers celle-ci, laissant l'éboulement se faire intégralement derrière; elle était desservie par des voies tracées au préalable dans le massif vierge et perpendiculaires à sa direction. Trois de ces voies étaient particulièment aménagées et entretenues en vue du rou-

lage, et de la communication entre la voie maîtresse et la face de l'ouvrage en *long-wall :* elles sont désignées sur le plan par les noms de *first south*, *second south*, *third south*.

Au total, pour les trois *districts* du Nord, l'étendue totale des parties déjà dépilées n'était pas moindre que $135^{hect.},56$.

Aérage. — Le système d'aérage est représenté sur le dessin On voit que le système des voies d'entrée d'air se ramifie à partir du puits correspondant et a, dans chaque *district*, la voie-maîtresse de roulage pour *artère*, avec une section de passage d'environ $4^{m^2},46$. Puis à chaque ensemble de taille en activité correspond un trajet de retour distinct, d'une section d'environ $2^{m^2},34$, qui ramène l'air à peu près parallèlement à son trajet d'entrée. Les longueurs des trajets d'entrée et de retour d'air étaient, lors de l'accident, pour chacun des *districts* du Nord :

DISTRICTS.	TRAJETS d'entrée d'air.	TRAJETS de retour.
	mètres	mètres
Pit narrow board	1.607	1 569
Cross-cut	909	1.127
Headways	956	1.210

Le plan montre que dans ce système *circulatoire* il n'y avait pas moins de 32 portes, 6 guichets régulateurs et 4 croisements d'air ou *crossings*, dont la conservation était indispensable au fonctionnement de l'aérage ; sans compter environ 187 barrages de briques, 14 cloisons de bois et 18 portières de cuir ou de toile.

Notons enfin que l'extrémité du quartier des *Headways* était en communication avec les travaux de la houillère voisine *East-Hetton* dans la même couche *Harvey* ; et que deux portes, interposées dans la galerie de communication,

garantissaient seules la marche régulière et l'indépendance des aérages des deux mines.

Foyer d'aérage; volumes d'air. — La ventilation à travers ce long réseau était produite par un foyer de 6m,40 sur 1m,83, placé près du pied du puits de retour d'air, et que l'on pouvait alimenter soit avec de l'air frais, soit avec l'air des retours. Lors de l'accident, c'était l'air des retours qui passait sur le foyer.

Il circulait dans la couche *Harvey* un volume d'environ 24mc,86 par seconde, qui, d'après les jaugeages faits huit jours avant l'explosion, se répartissaient comme suit :

	Mètres cubes par seconde.
Côté sud des puits	7,728
Chaudières au fond, près de la base du puits d'entrée	2,005
Quartier de *Pit narrow board*	5,927
— de *Cross cut*	4,026
— de *Headways*	5,177
Total	24,863

Dans le quartier de *Pit narrow board*, une partie seulement de l'air qui arrivait par la voie-maîtresse parvenait jusqu'à l'extrémité de celle-ci, pour gagner de là la face du *long-wall* et la parcourir en entier; une portion, filtrant par les portes, entrait dans les voies de roulage *first south, second south, third south* et gagnait ainsi les chantiers par un trajet plus court; mais cet air venait à propos rafraîchir le courant qui parcourait la longueur considérable du front de taille.

Dans le quartier des *Headways* on estime à un demi-mètre cube par seconde la quantité d'air qui s'échappait dans la mine de *East-Hetton*, à travers les portes ou la cloison des galeries de communication.

Grisou et poussières. — La mine était réputée moyennement grisouteuse. Les procès-verbaux des surveillants n'avaient, pendant les trois mois précédant l'accident, signalé que sept fois la présence du gaz en différents points. L'auteur du rapport au Parlement fait remarquer qu'en raison du pendage de la couche vers l'E.-S.-E., toute accumulation de grisou au toit des régions dépilées devait s'écouler vers les points indiqués sur le plan sous la mention : « points d'affluence du gaz » ; et les constatations consignées par les surveillants dans leurs procès-verbaux confirmaient, paraît-il, cette manière de voir.

La mine était très poussiéreuse. On arrosait chaque jour quelques points des voies de roulage, mais là seulement où c'était « absolument nécessaire ».

Eclairage. — La seule lampe employée était l'ancienne lampe Davy avec écran mobile. Dans les grandes voies de transport les rouleurs portaient des feux nus, mais ils ne dépassaient pas les écriteaux d'avertissement (*caution boards*) placés à des distances sûres des chantiers.

Circonstances particulières à l'époque de l'explosion. — 1° *Conditions atmosphériques.* — L'explosion survint le 16 février 1882, à 2^h 40^m de l'après-midi. Si l'on examine le diagramme n° 1 de la Pl. III, qui représente les observations barométriques faites, tant au jour qu'au fond, durant le mois qui précéda la catastrophe, il est indéniable qu'il s'était produit, pendant les jours précédents, une baisse inusitée et que cette baisse fut, à la surface, plus forte que jamais le 16 février (*).

(*) Il est vrai que l'observation faite au fond n'accuse, pour les 15 et 16, que la permanence d'un minimum qui avait déjà été atteint une fois le 13 ; mais remarquons que cette observation précède sans doute de plusieurs heures le moment de la catastrophe ;

Une autre remarque qui a été faite est que la variation des températures fut aussi extrêmement anormale à cette date du 16 février. Le diagramme n° 2, Pl. III, représente à ce point de vue, d'après l'observatoire de l'Université de Durham, la marche du maximum et du minimum de la température pendant les quelques jours avoisinant la catastrophe. Or, la courbe de l'*écart journalier des températures extrêmes*, déduite des deux précédentes, accuse, pour le 16, un maximum subit et tout à fait inusité.

Cependant, si l'influence de la dépression barométrique est déjà fort douteuse, on peut dire que la brusque variation de température signalée à Durham, considérée indépendamment du phénomène barométrique, ne paraît pas avoir pu intervenir dans les causes de l'explosion : c'est du moins ce que semble indiquer le diagramme n° 3, qui représente les observations thermométriques faites à la mine, au jour et au fond. La baisse indiquée par le thermomètre du jour ne paraît rien présenter d'exceptionnel ; et quant au thermomètre du fond, il accuse une constance d'où il paraît résulter que l'air intérieur de la mine était assez peu accessible aux variations thermiques extérieures.

2° *État du toit dans le* Pit narrow board district. — Un symptôme bien plus frappant que les conditions de pression et de température, c'est qu'à l'approche du moment de l'accident les toits se montraient mauvais dans les chantiers de *long-wall* du quartier de *Pit narrow board*, notamment les 15 et 16 février, au voisinage de la galerie

---

or, notons avec l'auteur du rapport, que le *Bulletin météorologique officiel* disait, à la date du 16 au soir : « A midi le baromètre baissait partout », et que le *Times* du 17 s'exprime ainsi : « La carte des pressions à six heures du soir (le 16) montre que le baromètre tend à remonter dans le nord et que la dépression, *qui s'était apparemment beaucoup accrue depuis le matin*, s'éloigne vers l'est. » Le moment de l'explosion pourrait ainsi coïncider avec celui où cette dépression maximum au jour se serait fait sentir au fond.

second south. Deux mineurs avaient dû quitter momentanément leurs chantiers; les surveillants se préoccupaient de cette mauvaise condition du toit; on avait pris des mesures pour consolider, au moyen de chandelles ou de piles de bois (*chocks*), les parties reconnues dangereuses.

Circonstances de l'explosion. — C'est dans ces conditions que l'explosion eut lieu. 64 mineurs, 5 surveillants et 25 gamins, soit 94 personnes, se trouvaient dans les travaux de *Harvey seam.* Personne n'échappa de ceux qui étaient dans le *district* de *Pit narrow board* ni dans celui des *Headways*; de plus, les portes de communication avec la mine de *East-Hetton* ayant été détruites, six hommes furent en outre asphyxiés dans cette dernière mine. Le nombre des victimes s'éleva à 69. Quant à ceux qui se trouvaient dans le *Cross-cut district*, ils ressentirent une violente secousse atmosphérique; mais le quartier se trouvant en cul-de-sac, son atmosphère intérieure fit coussin d'air, l'explosion n'y pénétra pas, et ces ouvriers purent gagner le pied du puits où ils trouvèrent du secours. Le quartier placé au sud des puits fut également préservé.

Sauf ces régions, l'explosion s'étendit partout; nous avons déjà vu qu'elle détruisit les portes placées à l'extrémité du quartier des *Headways*, et que les gaz asphyxiants se répandirent dans la mine voisine. Il n'y a que 11 victimes pour lesquelles on soit sûr, d'après l'aspect de leurs cadavres, qu'elles ont péri sur le coup par brûlure, et 4 ou 5 dont la mort paraît avoir été causée par la violence de la commotion; pour tous les autres l'asphyxie paraît avoir été la cause unique ou partielle de la mort.

Cependant il y avait un nombre considérable de cadavres plus ou moins brûlés, et il est remarquable qu'il s'en trouvait un peu partout, non seulement 22 dans le quartier de *Pit narrow board*, mais encore 4 dans celui des

Headways, et 2 en deux carrefours très éloignés l'un de l'autre, dans la galerie générale de roulage et d'entrée d'air. Toutefois les cadavres complètement brûlés, dont l'aspect indiquait le voisinage immédiat d'un *foyer* d'explosion, se trouvaient en deux endroits, savoir : 1o dans le quartier de *Pit narrow board*, à proximité de la galerie *Second south;* et 1, dans une région toute différente, à l'extrémité ouest du district des *Headways*, tout à fait au point extrême des travaux et près d'un de ces coins des régions dépilées que nous avons signalés comme lieux naturels de dégagement du grisou.

Point-origine de l'explosion. — Il est incontestable que le foyer principal d'explosion a été au quartier de *Pit narrow board.* Il y eut dans ce quartier 22 hommes plus ou moins brûlés, contre 2 tués par commotion et 12 paraissant avoir péri simplement par asphyxie. On y trouva d'épaisses croûtes de coke sur les chandelles et sur les *chocks*, et ces croûtes étaient toujours du côté qui regardait le point où la galerie *Second south* débouche aux chantiers, ce qui montre bien que c'est en ce lieu que le grisou a pris feu. Trois ouvriers qui avaient leurs chantiers au voisinage de ce point furent retrouvés dans la galerie *Second south* étendus la face contre terre et comme s'ils avaient été frappés en fuyant. Leurs lampes étaient restées à leurs places de travail. Il semble donc, comme le fait remarquer l'auteur du rapport, que quelque alarme avait précédé l'explosion.

L'existence du cadavre entièrement brûlé, dont nous avons parlé à l'extrémité du *Headways district*, et une portière d'aérage qui fut consumée non loin de lui, prouvent qu'il y eut là un second point d'inflammation de grisou. L'opinion a été émise, au cours de l'enquête, que c'était même là qu'avait eu lieu tout d'abord l'explosion, provoquée par exemple par l'allumage d'une amorce à fétu

de paille comme celles qu'on employait pour mettre le feu aux coups de mine.

Cette première explosion, peu puissante, aurait occasionné une commotion atmosphérique qui se serait propagée jusqu'au quartier de *Pit narrow board*, où elle aurait fait sortir les flammes des lampes et causé ainsi la grande explosion.

Mais cette théorie a été contredite avec toute apparence de raison par les inspecteurs des mines MM. Thomas Bell et James Willis. D'abord il n'est nullement prouvé qu'aucune amorce ait été allumée. Puis on ne voit pas comment les effets de la première explosion, supposée peu puissante, se seraient propagés de manière à atteindre le district de *Pit narrow board*, en suivant des retours d'air et détruisant des barrages au lieu de prendre issue vers le puits d'entrée d'air par la galerie-maîtresse du quartier des *Headways*. Enfin, à supposer que ce fût possible, les ouvriers du *Cross-cut district* auraient dû dans ce cas éprouver deux chocs atmosphériques correspondant aux deux explosions successives, tandis qu'ils n'en ressentirent qu'un seul.

MM. Bell et Willis estiment, au contraire, que l'explosion s'est produite de prime abord dans le quartier de *Pit narrow board*, avec assez de violence pour que les effets s'en soient fait sentir dans toute la mine. Il est incontestable qu'il y eut aussi inflammation d'un mélange grisouteux au point susvisé du quartier des *Headways;* mais ce fut un phénomène secondaire et conséquent auquel, d'après M. Bell, on ne peut même pas donner le nom précis d'explosion et dont on s'explique assez bien l'origine, si l'on se rappelle qu'il y avait là une cause naturelle d'affluence du grisou.

Cette manière de voir des inspecteurs des mines, très bien supportée par les faits, paraît avoir prévalu définitivement dans l'enquête.

Cause première de l'explosion. — La cause même de l'explosion qui se produisit au *Pit narrow board district* a pu être tirée au clair avec assez de certitude. En effet, d'après les résultats de l'enquête, il ne semble pas qu'il ait pu y avoir ni imprudence commise dans le tirage à la poudre, ni lampe ouverte, ni pipe allumée. Les lampes, retrouvées aux chantiers, étaient toutes en bon état; la vitesse normale du courant d'air, qui était de $0^m,90$ à $1^m,20$, ne pouvait suffire à faire sortir les flammes des tamis (*); enfin il resterait encore à expliquer la présence d'une aussi grande quantité de mélange gazeux explosif. Si l'on réfléchit, au contraire, à la mauvaise condition des toits avant l'accident au lieu même où l'explosion eut lieu, à la vaste étendue de région dépilée que la rangée des chantiers laissait derrière elle, à l'alignement presque exclusivement rectiligne de cette rangée de chantiers qui favorisait la chute simultanée de ces mauvais toits sur une grande largeur, on est amené à conclure que c'est une *tombée* du toit, survenant tout d'un coup sur une étendue inusitée, qui a chassé hors de la région déjà dépilée (*goaf*), le gaz explosif en abondance, donnant ainsi à la fois et la *matière* de l'explosion et sa *cause* déterminante, puisque le coup de vent produit par cette chasse, ajouté à la vitesse normale de l'air au chantier, a pu et dû suffire pour faire sortir la flamme de l'une des lampes hors de son tamis (**).

On comprend dès lors comment des indices précurseurs, probablement des craquements, précédèrent le phénomène, en sorte que les trois ouvriers, qui ont été trouvés

(*) D'après le rapporteur de l'enquête, il faudrait pour cela avec la lampe Davy une vitesse de $2^m,30$ environ.

(**) M. Bell raconta à ce sujet, au cours de l'enquête, qu'il lui était arrivé à lui-même, en assistant à un déboisage, de voir sa lampe éteinte par le coup de vent que produisit une chute du toit, fait qui lui prouve, dit-il, « que la force d'une chute semblable serait suffisante pour chasser le gaz au travers du tamis. »

la face contre terre dans la galerie *Second south*, quittèrent leurs chantiers et cherchèrent à fuir.

Rôle des circonstances générales. — Quel a pu maintenant être le rôle, dans le phénomène ainsi défini, de diverses circonstances signalées ci-dessus, comme de l'état très poussiéreux de la mine ou des conditions barométriques exceptionnelles qui ont coïncidé avec l'accident?

Les faits et les discussions de l'enquête n'ont rien mis en lumière à ce sujet. On n'a aucune preuve d'une influence quelconque des poussières, et la formation des croûtes de coke, phénomène bien connu, n'est qu'une *circonstance* habituelle des explosions. Quant au trouble météorologique évident, dont nous avons plus haut donné le détail, son intervention ne paraît pas bien nécessaire à l'explication des faits; les hommes de l'art consultés lors de l'enquête ne semblent pas l'avoir fait intervenir dans leurs hypothèses, et l'on n'est par conséquent fondé à lui assigner aucun rôle.

Conclusions et remarques. — La conclusion du rapporteur de l'enquête est que la lampe Davy n'offre pas assez de garanties contre les dangers qui résultent de l'agitation violente d'une atmosphère grisouteuse : fait très digne d'attention en lui-même, et parfaitement avéré.

Mais on doit se demander, en outre, bien que les Anglais ne paraissent jamais le faire en pareil cas, si la méthode d'exploitation et la disposition de la mine ne sont pour rien dans la gravité de l'accident.

Or, il paraît certain d'abord qu'un ouvrage de *long-wall* conduit en revenant vers la voie maîtresse (*working house*) et laissant derrière soi un *goaf* entièrement abandonné, avec un front de taille aussi étendu et aussi nettement rectiligne que l'était celui de *Pit narrow board*, réalise les

conditions les plus favorables à des tombées du toit vastes et dangereuses.

Remarquons que l'observation ne s'appliquerait pas de même à un *long wall working out*, conduit en s'éloignant de la voie maîtresse, parce que les galeries d'accès réservées dans le *goaf*, avec les remblais latéraux qui les défendent, ont le double effet suivant, savoir : d'une part, de constituer des soutiens locaux qui rompent la continuité des tombées du toit ; d'autre part, dans une certaine mesure, de drainer le *goaf* et d'y prévenir les accumulations de mauvais air.

Notons, en outre, que, même dans le *long wall working house*, même avec un front de taille étendu, on peut s'opposer aux grandes chutes continues dans les dépilages, en divisant nettement le front de taille par des décrochements, en figure de gradins, d'un chantier à l'autre.

Ici, au contraire, rien n'était de nature à combattre la continuité des tombées du toit, la succession des chantiers se faisant suivant une ligne presque unique et droite sur plus de 300 mètres de longueur.

De plus, si l'on se reporte au plan général, Pl. III, on voit que rien, dans la disposition de l'aérage, n'était propre à empêcher la stagnation du mauvais air dans le *goaf* laissé derrière les chantiers.

A un autre point de vue, il faut remarquer que le plan général de la mine donne une disposition telle de l'aérage, qu'après l'explosion les travaux se remplissent nécessairement d'air irrespirable et qu'un grand nombre d'ouvriers périssent après coup par asphyxie. C'est un trait caractéristique des grands accidents de grisou anglais, et la cause en réside dans cette disposition *circulatoire* de l'aérage que nous avons signalée. Il est vrai qu'ici les effets de l'explosion proprement dite paraissent s'être répandus dans toute la mine, comme en témoignent les traces de brûlure constatées dans des quartiers très différents ; mais il n'en sub-

siste pas moins que 36 des victimes, c'est-à-dire plus de la moitié, périrent simplement asphyxiées, et, fait bien caractéristique, que personne n'échappa dans les quartiers envahis. Le rapport d'enquête, qui n'insiste pas sur ces causes d'aggravation du sinistre, ne dit pas comment se comportèrent les cloisons d'aérage, portes et *crossings;* il parle seulement des portes de communication avec la mine voisine qui furent détruites, ce qui augmenta de 6 le nombre des morts, comme on l'a vu plus haut.

II

Explosion de Tudhoe.

18 avril 1882.

Situation de la mine et couches exploitées. — Dans la partie ouest du bassin du Durham, à environ 8 kilomètres au sud-ouest de la ville de ce nom, la houillère de Tudhoe exploite les trois couches *Hutton*, *Busty* et *Brockwell*, aux profondeurs respectives de 82^{m},3, — 122^{m},5 et 159 mètres au-dessous du sol, et en tire environ 1.000 tonnes par jour de charbon à coke et subsidiairement à gaz. La couche *Brockwell*, où l'explosion survint, présente une puissance de 1^{m},07, sans lit stérile dans la partie ouest du charbonnage, avec un lit médian de 1 à 2 centimètres dans la partie orientale; un mur gréseux dur; un toit, auquel le charbon n'adhère qu'exceptionnellement, composé de grès schisteux et ensuite des strates ordinaires du terrain houiller.

La mine est desservie par trois puits, savoir deux puits d'entrée d'air et d'extraction, le Puits *Est* et le Puits *Ouest*, distants de 53 mètres, et un puits de retour d'air, situé à 165 mètres au sud des deux premiers.

Travaux dans la couche Brockwell. — Pour l

couche *Brockwell*, l'extraction a lieu par l'un et l'autre puits d'entrée d'air, desservant chacun une région distincte des travaux. Le puits *Est* dessert les *districts* du nord et du sud, le puits *Ouest* celui de l'ouest. Les *districts* du nord et de l'ouest, qui furent éprouvés par l'explosion, sont représentés par la Pl. IV, et, comme l'on voit, ils comprennent chacun plusieurs quartiers d'exploitation, désignés par les noms de leurs voies maîtresses. Le district du nord se compose du *Sunderland-bridge-way*, sur lequel se branchent le *Shieldfield-way*, le *Croxdale-way* et le *Cold-stream-way;* le district de l'ouest comprend le *Main-west-way*, l'*Alma-bank*, et comme branchements, le n° 6 *way*, le *new* n° 5 *way* et le *old* n° 5 *way*.

Partout l'exploitation est faite par la méthode ordinaire du Durham, *Board and pillar*, et dans les districts qui nous occupent on était généralement à la période du dépilage.

Personnel. — On travaillait presque partout en trois postes par vingt-quatre heures avec un personnel moyen de :

Au district de l'Ouest. . .
- 76 mineurs par poste.
- 1 maître mineur
- 1 sous-maître mineur.
- 1 maître mineur de nuit.
- 0 *deputies*.

Aux districts du puits Est . .
- 144 mineurs par poste.
- 1 maître mineur.
- 1 sous-maître mineur.
- 13 *deputies*

Aérage. — Le réseau d'aérage est représenté sur le plan (Pl. IV); on y reconnaîtra le tracé circulatoire ordinaire des aérages anglais, dont les inconvénients sont exagérés ici par le très grand développement total de la plupart des parcours d'air, comme il ressort du tableau suivant qui donne les longueurs et les sections des diverses parties de ces parcours.

	QUARTIERS.	DÉSIGNATION des parcours partiels.	LONGUEURS.	SECTIONS.
District du Nord (exploitation par le puits Est).		Grande galerie d'entrée d'air du district Nord (Sunderland-bridge-way)	mètres 1.861	mèt. carr. 3,90
	Shieldfield-way.	Galerie d'entrée d'air	870	4,18
		Chantiers du côté nord	371	2,28
		Retour d'air du nord	1.103	2,60
		Chantiers du côté sud	1.013	2,28
		Retour d'air du sud	865	2,60
	Croxdale-way.	Chantiers	823	2,38
		Retours d'air nord et sud	913	2,60
	Coldstream-way.	Entrée d'air et chantiers	773	2,38
	Sunderland-bridge-way.	Chantiers du côté ouest	331	2,28
		— du côté est	428	2,60
		Grand retour d'air	1.695	—
District de l'Ouest (exploitation par le puits Ouest).		Grande galerie d'entrée d'air	1.850	4,55
	N° 6-way.	Chantiers du côté ouest	448	2,28
		Retour d'air du côté ouest, rejoignant celui d'Alma-Bank	1.456	2,83
		Retour d'air du côté est	606	2,60
	N° 5-way.	Galerie d'entrée d'air	282	4,09
		Chantiers du côté ouest	221	1,95
		Retour d'air de l'ouest	229	1,95
		Chantiers du côté est	262	1,95
		Retour d'air de l'est	1.078	1,95
	Alma-Bank.	Entrée d'air	1.207	4,39
		Retour d'air du côté nord	507	2,60
		— du côté sud, jusqu'au puits de retour	1.322	2,60

On remarquera sur plusieurs points, notamment dans le district de *Coldstream-way*, quel long chemin l'air doit parcourir le long de la limite des parties dépilées, et par suite dans les meilleures conditions pour se charger de mauvais air, avant d'arriver aux derniers chantiers.

Ce réseau d'aérage ne comporte pas moins d'environ 18 portes simples ou doubles, 10 guichets-régulateurs, 380 barrages maçonnés et 200 cloisons de bois ou portières ; le nombre des *crossings* (croisements d'air) s'élève à 15.

En outre, il a été établi dans l'enquête que plusieurs des portes les plus importantes, dont dépendait la ventilation de régions considérables, étaient des portes *simples* : notamment en un point de *Croxdale-way*, en un point de *Coldstream-way*, et en deux points d'*Alma-bank* voisins de sa jonction avec l'*old* n° 5.

Enfin, ici encore, la mine correspondait avec une mine voisine, savoir la houillère de Croxdale, par une galerie située au nord du quartier de *Croxdale-way*, et cette galerie n'était fermée que par une double cloison (*).

Ventilateur ; volumes d'air. — La ventilation était produite par un ventilateur de $12^{m},19$ de diamètre, et aidée en outre par l'échappement de trois machines de traction mécanique et d'exhaure, placées au fond près des puits d'entrée d'air, et dont la vapeur amenée de la surface était lâchée ensuite dans le puits de retour.

Sur les $82^{m^3},403$ d'air qui pénétraient *par seconde* aux deux puits d'entrée, $42^{m^3},003$ entraient dans les travaux de la couche Brockwell et s'y répartissaient ainsi :

		MÈTRES cubes par seconde.
District du Nord, ayant pour galerie générale d'entrée d'air la galerie de *Sunderland bridge*	*Shieldfield-way*	6,265
	Autres quartiers	4,283
	Écuries, abords du puits, etc.	0,731
Total pour le district du Nord		11,279
District de l'Ouest	Alma-Bank	4,661
	N° 5-way	2,762
	N° 6-way	6,358
	Écuries, abords du puits, etc.	1,854
Total pour le district de l'Ouest		15 635
District du Sud, au total		15,089

(*) L'auteur du rapport officiel dit un barrage maçonné, mais la déposition du maître-mineur White ne mentionne qu'une cloison, doublée par les soins du directeur de Croxdale.

Grisou et poussières. — La couche était considérée comme peu grisouteuse. On ne trouvait que rarement des points où le gaz fût sensible à la lampe, et l'on estimait comme impossible que l'air des grands retours marquât jamais. Lorsqu'un surveillant trouvait du grisou en un point il prenait lui-même les mesures convenables pour le balayer par de l'air pur, sans même souvent en rendre compte par écrit. Le district de *Shieldfield-way* paraît un de ceux où l'on constatait de temps à autre un peu de gaz; les inspections faites le soir qui précéda la nuit de l'explosion n'avaient révélé nulle part de grisou, si ce n'est en un point de ce district, au contact de la région dépilée du côté sud, mais dans une proportion et une situation qui ne parurent pas inquiétantes.

La mine était sèche et poussiéreuse. On arrosait périodiquement, et le *Sunderland-brigde-way* paraît avoir été arrosé la veille de l'explosion.

Eclairage. — On employait des feux nus au roulage jusqu'en des points déterminés. En ces points relativement assez avancés dans l'intérieur de la mine se trouvaient des écriteaux d'avertissement (*caution boards*) et des lanternes à verre rouge. A partir de là, il n'y avait plus que des lampes de sûreté *Davy*, *Clanny* et *Geordy*. La lampe *Davy* dominait, comme dans la plupart des houillères anglaises.

Circonstances de l'explosion. — La veille de l'explosion l'air était peu vif dans la mine et le baromètre était bas, mais sans rien d'anormal. Aucun fait précurseur n'est à signaler.

L'explosion survint pendant le poste de nuit, vers une heure du matin, le 18 avril. Il n'y avait à cette heure dans la mine que des ouvriers au rocher. Le dernier homme du poste précédent qui quitta la mine fut un *deputy* qui, accompagné d'un ouvrier, revint de l'extrémité d'*Alma-*

Bank vers minuit moins dix. En passant dans la galerie d'*Alma-Bank* au *caution-board* placé près de l'embranchement de l'*old n° 5-way* (point C de la Pl. IV), il éteignit, affirme-t-il, comme il en avait charge, la lanterne à verre rouge de ce *caution-board*, et ne vit rien d'anormal dans son trajet de retour.

Vers la même heure il est constant que deux mineurs au rocher préparaient un coup de mine dans le district du nord, en un point de la grande galerie maîtresse, situé à 55 mètres avant l'embranchement du *Shieldfield-way* (point A de la Pl. IV). Il y avait là, sur la gauche en s'éloignant du puits, une galerie de recoupe de $13^{m},73$ de longueur, qui faisait communiquer la galerie maîtresse et le grand retour d'air, et qui au lieu d'un barrage maçonné avait une double porte pour fermeture. La porte la plus voisine de la galerie maîtresse en était distante de $5^{m},48$; le trou de mine, destiné à l'élargissement de la recoupe, avait son origine à $4^{m},55$ environ de cette porte et était dirigé vers la galerie. Une demi-heure avant l'explosion, ces hommes foraient; le moment de l'explosion est-il celui où ils tirèrent le coup de mine? C'est ce qu'il est difficile de savoir. Une raison donnée en faveur de cette hypothèse, c'est qu'ils furent trouvés brûlés à peu près à la distance où ils avaient dû s'éloigner pour le tirage.

Les effets de l'explosion se firent sentir partout, sauf au district du Sud. Le bas des puits même fut endommagé. Presque tous les crossings et les barrages d'air furent emportés. 22 ouvriers périrent brûlés et 16 asphyxiés. Les ouvriers brûlés furent tous trouvés dans les voies d'entrée d'air, d'ailleurs aussi bien dans une partie de la mine que dans l'autre.

Toutefois, un épisode tout particulier survint dans le district de l'ouest, vers le milieu de la galerie dite n° 6-way, au passage d'une faille qui relève la couche de $2^{m},44$ vers

le nord, et un peu avant d'arriver à un dérangement appelé le *Hett whin dyke* (point B de la Pl. IV). Là, un train de 50 wagons, qui, lors de l'explosion, circulait en s'éloignant du puits, au moyen de la traction mécanique par corde-tête et corde-queue (*main and tail rope*), fut trouvé à demi-enseveli sous un éboulement considérable tombé du plafond de la galerie. Ce plafond, formé de schiste gréseux, était bouleversé et éboulé jusqu'à une hauteur de $4^m,50$ à 6 mètres; cette tombée avait atteint l'arrière du train et entièrement enseveli, sous un vaste monceau de débris, les 12 derniers wagons et 4 hommes qui s'y trouvaient. Deux autres hommes qui étaient aussi sur le train, furent trouvés un peu plus en avant. Tous les six avaient péri brûlés et fortement brûlés, notamment ceux que l'éboulement avaient ensevelis, dont l'un était carbonisé et reconnaissable seulement à ses vêtements.

Le câble d'arrière que le train tirait après lui dans sa marche en était détaché par la rupture d'un chaînon de l'attelage, paraissant avoir exigé un choc violent. L'autre câble était intact.

Point-origine de l'explosion. — D'après cet ensemble de circonstances, quel peut être le point de la mine où le grisou s'est enflammé?

On peut supposer que l'explosion ait été occasionnée par le coup de mine du *Sunderland-bridge way*. Se propageant par toutes les galeries d'air frais de la mine, la violence de son coup de vent aurait imprimé au train du n° 6-*way* une violente poussée en avant, ce qui expliquerait la rupture d'attelage du câble d'arrière. L'éboulement au même lieu serait une conséquence de la même commotion et aurait, dans ce cas, naturellement suivi la combustion du mélange explosif, ce qui expliquerait pourquoi les ouvriers ensevelis sous l'éboulement étaient brûlés. Cette hypothèse est supportée par ce fait, que l'instant de l'explosion est à peu

près celui où l'on a dû tirer le coup de mine, et par la remarque relative au lieu où furent trouvés, comme nous l'avons dit, les deux ouvriers mineurs.

Mais on ne voit pas bien comment expliquer, en ce point, la présence d'assez de grisou pour expliquer le cataclysme. On est là à moins de 460 mètres du puits d'entrée, au voisinage immédiat de la galerie de *Sunderland-bridge-way* où passaient $11^{m^3},279$ d'air frais par seconde (*) ; tous les témoins de l'enquête ont considéré comme impossible qu'il y eût du grisou dans cette galerie. Il est vrai que le coup de mine a bien pu briser les portes de fermeture de la recoupe ou briser la première et trouver entre les deux portes assez de grisou pour faire sauter la seconde, et par suite porter l'inflammation dans le retour d'air. Mais, bien que ce retour d'air contînt entre autres l'air qui avait passé au point grisouteux signalé au quartier de *Shieldfield-way*, il est bien difficile d'admettre qu'il fût chargé d'assez de gaz pour produire une sorte de dégagement capable de porter l'explosion dans toutes les galeries d'air frais de la mine. D'ailleurs, au moment du bris des cloisons, la dépression étant nécessairement plus grande dans le retour d'air, il aurait dû y avoir afflux de la grande galerie dans le retour d'air et non propagation dans la grande galerie.

Une autre hypothèse est d'admettre pour origine de l'explosion l'éboulement du n° 6-*way*. Le fait même de cet éboulement, au voisinage de deux failles, n'a rien qui doive surprendre ; et une poche ou accumulation quelconque de grisou dans les strates dérangées voisines de ces failles aurait pu ainsi être mise en liberté. L'inflammation de ce grisou s'explique tout naturellement, puisque les hommes du train étaient porteurs de lampes à feu nu. L'explosion, réagissant à son tour sur les roches en place, aurait ag-

(*) Ce qui, en admettant la section moyenne sus-mentionnée de $3^{m^2},90$, donnerait une vitesse de courant d'air de $2^m,89$.

gravé l'éboulement, ce qui rend très bien compte de l'importance de la tombée.

Mais cette théorie repose sur l'hypothèse gratuite d'une accumulation de grisou préexistante dans les strates. D'ailleurs, deux faits restent en outre à expliquer : la mort par brûlure des victimes trouvées sous l'éboulis et la rupture d'attelage du câble d'arrière.

En effet, il semble que si l'éboulement a fourni le grisou, il a dû précéder l'explosion, ne fût-ce que d'un instant très court, et que par suite les matériaux eussent dû dès l'abord recouvrir les hommes et les préserver de la brûlure. On peut admettre, il est vrai, à cet égard, que les victimes ne furent pas ensevelies tout à coup sous une couche de pierres si impénétrable, que le mélange détonant, formant en un instant toute l'atmosphère de la région, ne fît explosion aussi bien au sein même de l'amoncellement caverneux des débris qu'au-dessus et à côté; d'ailleurs, comme il est dit plus haut, il se produisit sans doute une action réciproque qui aggrava l'éboulemeut du fait même de l'explosion, donnant ainsi après coup aux victimes un tombeau de pierres amoncelées qu'elles n'avaient peut-être pas au premier instant : en sorte que cette objection contre l'hypothèse de l'éboulement initial ne serait pas irréfutable.

Mais la rupture d'attelage, elle, ne peut pas s'expliquer du fait de l'éboulement. Le directeur de la mine l'attribue à un arrêt brusque du tambour du câble-arrière causé par un serrage accidentel du frein de ce tambour. Un pareil fait n'a rien que de très possible en lui-même et rend compte de la rupture observée. Mais il reste encore à rattacher ensemble, si l'on ne veut tomber dans des hypothèses de coïncidences invraisemblables, cette secousse donnée par le tambour du câble et le phénomène de l'éboulement.

C'est ce que fait, disons-le, d'une manière très ingénieuse un ingénieur civil qui parut comme témoin dans

l'enquête, M. Douglas, en supposant que la forte secousse, donnée au train par la tension brusque du câble et la rupture de l'attelage, fit dérailler ou verser ce train, le heurta contre les boisages de la galerie, et ce heurt en avariant le boisage fut la cause occasionnelle de l'éboulement.

Ainsi mise sur pied l'hypothèse est vraisemblable. Néanmoins la supposition de l'accumulation du grisou au toit reste sans l'appui d'aucune preuve.

Aussi, cherchant à expliquer plus naturellement l'afflux du grisou par le fait d'un dégagement hors des régions dépilées, a-t-on imaginé encore une troisième explication. On suppose que le *deputy* chargé d'éteindre la lanterne d'avertissement du caution-board de la galerie d'accès d'Alma-Bank, ait en réalité oublié cette consigne. Il est constant, d'autre part, que l'aérage du quartier d'Alma-Bank avec son annexe old n° 5-way n'était assuré que par deux portes *simples* interposées sur deux courtes recoupes entre les galeries d'entrée d'air et de retour, un peu après le carrefour du n° 6-way. Dès lors, il suffit d'imaginer un accident fortuit, comme une chute de toit, avariant une de ces portes, et la circulation de l'aérage est supprimée : circulation tout particulièrement nécessaire dans ce quartier, pour balayer le mauvais air au contact des vastes étendues de région dépilée qui l'entourent de toutes parts. Si l'on suppose que l'aérage ait ainsi été détruit, on peut admettre que le grisou des dépilages ait progressivement envahi le quartier et soit venu finalement s'allumer à la lanterne du caution-board. Les faits relatifs à l'éboulement du n° 6-way et au train s'expliqueraient d'ailleurs comme dans la première théorie.

Cette explication, comme on le voit, repose sur l'hypothèse de plusieurs faits dont il faut admettre le concours fortuit. Elle est dans une certaine mesure appuyée par cette circonstance que les dépositions du *deputy* et de son compagnon, affirmant que la lanterne avait été éteinte, eurent

lors de l'enquête une apparence un peu suspecte. Mais c'est là tout : aucun fait précis ne vient confirmer cette supposition.

En somme, on est réduit à édifier des théories plus ou moins plausibles, mais l'incertitude plane sur l'origne de l'accident.

Indices tirés de l'aspect des lieux. — Toutefois des trois hypothèses c'est la seconde qui rallia le plus d'opinions lors de l'enquête, et c'est celle que le jury adopta dans son verdict. Elle a pour elle, il faut le dire, l'autorité des hommes les plus compétents qui virent la mine après l'explosion, savoir, outre le directeur, trois ingénieurs civils, MM. Douglas, Wood et Stevenson. Les meilleures raisons données à l'appui de leur opinion sont les suivantes, tirées de la façon dont les cloisons avaient été bouleversées, les boisages déplacés et revêtus de poussière dans les différentes régions. Mais est-il bien permis de se fier, comme seuls indices positifs, à des phénomènes aussi capricieux, et dont l'observation impartiale et exacte est aussi difficile? Voici néanmoins à peu près le relevé de leurs dires :

Dans le *Sunderland bridge way*, au delà du point où avait été préparé le coup de mine, les indications de cette nature paraissaient indiquer un effort dirigé de l'extérieur vers l'intérieur (*), ce qui concorde indifféremment avec toutes les explications proposées. Mais entre le lieu du coup de mine et les écuries elles étaient encore dans le même sens, autant du moins qu'on pouvait le voir par les dépôts de poussière, car les boisages n'étaient pas là nettement déplacés. Entre les écuries et le puits, tout indiquait, au contraire, un effort des écuries vers le puits; dans les écuries même, l'effort avait également été de l'ouest vers l'est, comme l'indiquait le sens de projection des briques d'un mur et de divers barrages. En allant des écuries dans le district ouest, et suivant la

(*) En convenant, pour la commodité de ces explications, d'appeler toujours *extérieur* le côté le plus voisin du puits.

grande galerie de ce district jusqu'à la bifurcation d'*Alma-Bank* et du n° 6 *way*, on reconnaissait évidemment, d'après M. Douglas, que le coup avait été de l'intérieur vers l'extérieur; il y avait là des *crossings*, dont le côté intérieur seul était emporté, et des traces de projections de poussières venues du côté intérieur. A la bifurcation, on trouvait des signes d'un effort violent dans le même sens ; de plus, le crossing voisin de ce dernier point était nettement endommagé comme les précédents. A partir de là, en suivant le n° 6 *way*, on trouvait des indices encore concordants : à 35 mètres plus loin, une pièce de boisage brisée et déplacée vers l'extérieur; à 30 mètres avant le carrefour du *new* n° 5 *way*, d'épais dépôts de poussière et une forte chandelle dont la brisure indiquait nettement le sens du coup. Dans le n° 5 *way*, les marques de l'effort étaient de l'extérieur vers l'intérieur, ce qui est concordant avec toutes les explications. Entre le carrefour du *new* n° 5 *way* et le lieu de l'éboulement dans le n° 6 *way*, des bris de bois et des dépôts de poussière continuaient à marquer que l'effort avait été dirigé vers l'extérieur. Au contraire, à 45 mètres au delà de l'éboulement, une chandelle de 18 centimètres de diamètre avait été brisée en son milieu par un effort dirigé vers l'intérieur; à 51, à 79, à 81 mètres au delà de l'éboulement, il y avait des projections de pierres et de poussières dirigées dans ce même sens. Au delà, la propagation du phénomène semblait s'être affaiblie ; à 180 mètres du *whin dyke*, aucun indice de violence n'était plus visible.

Reprenant maintenant à partir de la bifurcation d'*Alma Bank* et suivant cette dernière voie, on trouvait des indices d'effort venant de l'extérieur; les *crossings* situés entre la bifurcation et le *caution board* étaient frappés de ce côté; des wagons étaient déplacés et avariés dans le même sens. Dans le *Old* n° 5 *way*, entre autres indices encore concordants, le *crossing* avait été frappé du sud au nord.

Tous ces symptômes, s'ils sont bien et impartialement observés, indiqueraient que l'explosion aurait eu son siège à l'éboulement et se serait propagée par toutes les grandes voies d'entrée d'air en passant du district de l'ouest dans celui du nord par les écuries.

Conclusions et remarques. — On serait donc, dans cette hypothèse, en présence d'un dégagement exceptionnel de grisou, faisant irruption au toit d'une couche dans une région de failles et occasionné, ou tout au moins accompagné par un éboulement de ce toit.

On se rappelle que pour l'explosion de Seaham (septembre 1880), c'est précisément un phénomène de ce genre qui avait été proposé comme explication par les ingénieurs et directeurs de charbonnages que les propriétaires appelèrent en témoignage dans l'enquête (*); leur théorie, disons-le, n'avait pas alors paru prévaloir auprès des autorités les plus compétentes. Dans le cas présent ce sont encore les ingénieurs civils appelés en témoignage par le personnel responsable de la mine qui mettent en avant la même sorte d'explication ; et comme c'est celle qui dégage le plus complètement les responsabilités, on ne peut pas dire qu'elle soit abolument désintéressée.

Il resterait encore à se demander, en admettant une accumulation de grisou, si son dégagement a pu être suffisant pour porter le ravage dans presque toute la mine, ou sinon quelles causes auxiliaires ont alimenté le fléau. On peut imaginer vraisemblablement que du grisou sortant des vides et des vieux travaux soit intervenu; mais on est ici dans le pur domaine des suppositions.

Au point de vue pratique, l'accident fait ressortir le danger de ces éclairages mixtes avec lumières à feu nu dans une portion des grands roulages, que la loi anglaise tolère aux houillères grisouteuses.

Il montre avec quelle facilité les explosions de grisou se propagent d'un bout à l'autre des travaux, en suivant de préférence les galeries d'air frais.

Il témoigne une fois de plus des aggravations qui résultent, lors d'un accident, du système d'aérage anglais, dans lequel la destruction des crossings et des barrages d'air, qui fut ici presque complète, facilite la propagation du phénomène et livre ensuite à l'asphyxie ceux que l'explosion a épargnés.

(*) Cf. Aguillon, *Annales des mines*, 7e s., t. XX, p. 225.

III

Explosion de West-Stanley.

19 avril 1882.

Situation de la mine et couches exploitées. — La houillère de West-Stanley est située dans le Durham, à environ 9 kilomètres et demi à l'ouest de Chester-le-Street. Ses puits recoupent

la couche	*Shield-row*,	à la profondeur	de	71 mètres.
—	*Five-Quarter*,	—	de	96 —
—	*Brass-thrill*,	—	de	113 —
—	*Maudlin*,	—	de	154 —
—	*Low-main*,	—	de	170 —
—	*Hutton*,	—	de	178 —
—	*Tilley*,	—	de	244 —
—	*Busty*,	—	de	255 —

L'exploitation a lieu dans les couches *Shield-row*, *Low-main*, *Hutton et Busty ;* elle est achevée dans les couches *Five-quarter* et *Bass-thrill*.

La couche *Busty*, où l'explosion eut lieu, est constituée ainsi, du toit au mur :

Charbon . .	0m,15	Puissance utile : 1m,12
Banc stérile . .	0 ,23	
Charbon	0 ,97	
Ouverture totale.	1m,35	

Elle donne du charbon à coke et à gaz, notablement friable.

Le charbonnage possède quatre puits, mais deux seulement atteignent cette couche *Busty ;* ces deux puits sont situés côte à côte, à 4m,27 seulement de distance ; l'un, de 3m,658 de diamètre, sert à l'entrée de l'air et à l'extraction ; l'autre, de 3m,048 de diamètre, n'est pour cet étage inférieur qu'un puits de retour d'air.

Travaux dans la couche Busty. — L'ensembledes travaux de la couche Busty qui s'étendent, tant en dépilages qu'en traçages, sur une superficie de 283 hectares environ, comprend quatre quartiers d'exploitation, savoir : le quartier du Nord, le quartier du Sud, desservis par les deux moitiés d'une grande voie rectiligne qui s'étend du nord au sud de part et d'autre du puits d'entrée d'air; et les deux quartiers de l'Ouest, desservis par une autre grande voie rectiligne qui se branche sur la première tout près et au sud de ce puits pour se diriger de l'est à l'ouest. Les quartiers de l'Ouest, représentés seuls (Pl. V, *fig.* 1), sont situés de part et d'autre de cette grande voie, et desservis chacun par une galerie-maîtresse particulière qui se branche sur celle-ci. Ils sont désignés, du nom de leurs galeries-maîtresses, sous les appellations de *North-crosscuts* et *South-crosscuts*. Enfin, dans le quartier des *North-crosscuts*, il y a encore lieu de distinguer le sous-quartier de l'est et celui de l'ouest, desservis respectivement par deux galeries plates (*flats*) branchées de part et d'autre sur la galerie-maîtresse.

Dans tous les quartiers, la méthode d'exploitation est le système de « Board and pillar » ordinaire au Durham, et, tandis que les quartiers du Nord et du Sud étaient à la période du dépilage, ceux de l'Ouest, ou des *crosscuts*, ne comprenaient, comme le montre la *fig.* 1, Pl. V, que des chantiers de traçage.

Le travail se faisait en abattant d'abord les $0^m,97$ de charbon du mur, puis, en arrière de l'avancement, on abattait ensemble le banc stérile et le charbon du toit, généralement au coin, quelquefois à la poudre.

Personnel. — Le personnel du fond, qui pour toute la houillère ne dépassait pas 100 mineurs, comprenait, pour les travaux de la couche Busty :

1 maître mineur.
1 sous-maître-mineur.
1 chef de poste.
et, pour chaque poste, { 2 *deputies*. 25 mineurs.

Aérage. — Les grandes voies, galeries-maîtresses et galeries plates que nous avons énumérées constituaient le réseau des artères d'entrée d'air pour les divers quartiers et sous-quartiers. De l'extrémité de chaque artère, l'air suivait la ligne des chantiers ; puis les grands retours d'air couraient comme toujours côte à côte avec les grandes voies. La *fig.* 1, Pl. V, rend compte de ce tracé, conséquence systématique du rapprochement extrême des deux puits.

On voit qu'il y avait, pour les quartiers de l'Ouest seulement, 3 portes de bois, 2 cloisons à guichets régulateurs, 5 portières de toile ou de cuir et 65 barrages maçonnés, outre le *crossing* situé à l'entrée de la galerie-maîtresse des *North-crosscuts* et de l'existence duquel tout dépendait. Par une imprudence toute gratuite, les portes de bois étaient simples, sauf celle qui fermait la grande voie générale d'entrée d'air immédiatement au delà du branchement des *North-crosscuts*, et qui, en raison du rôle exceptionnel qu'elle jouait, puisqu'elle forçait seule l'air à s'engager dans les galeries des *Crosscuts*, était doublée par une portière. Encore est-il permis de trouver ce mode de doublement bien précaire, malgré cette opinion singulière émise au cours de l'enquête : qu'une simple portière est plus sûre qu'une porte en bois, comme moins sujette à se déranger.

Ventilateur ; volumes d'air. — La ventilation était produite par un Guibal de 9^{m},144 de diamètre et de 3^{m},048 de largeur, fonctionnant à raison de 42 révolutions par minute en moyenne.

Diverses données intéressantes, au point de vue de la

distribution de l'air, sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau de la ventilation de la couche Busty, d'après les jaugeages faits le 15 mars 1882.

DÉSIGNATION des quartiers		Longueur de l'entrée d'air, du puits aux chantiers.	Longueur du retour d'air, des chantiers au puits.	Longueur totale des chantiers.	Longueur des voies de traçage servant au roulage.	Section moyenne des voies d'entrée d'air.	Section moyenne des voies de retour d'air.	Vitesse moyenne de l'air dans la voie d'entrée d'air, avant les divisions du courant.	Nombre de chantiers.	Nombre maximum d'ouvriers (hommes et gamins) par poste d'abatage.	Nombre de chevaux et poneys.	Volume d'air, en mètres cubes par seconde.
		m.	m.	m.	m.	m²	m²	m²				m³
Quartier des North-Crosscuts	galerie plate de l'Est. . .	1.040	344	273	471	2,97	3,34	1,03	8	15	5	3,048
	galerie plate de l'Ouest.	1 120	482	60	218	2,97	3,34	0,70	3	5	2	2,104
Quartier des South-Crosscuts . . .		424	785	362	523	2,97	3,34	0,79	8	10	3	2,360
— du Nord.		302	282	101	221	3,25	3,25	0,59	4	8	3	1,911
— du Sud		402	503	77	262	2,97	3,25	0,74	2	6	2	2,186
Écuries, abords des puits, etc . .		»	»	»	»	»	»	»	»	»	»	1 416
Totaux.		3 288	2,396	673	»	»	»	»	25	44	15	13,025

Grisou et poussières. — D'après les faits mis en lumière par l'enquête, il est certain que la mine était grisouteuse. On entendait fréquemment le chant du grisou, notamment dans le quartier des *South-crosscuts;* dans celui des *North-crosscuts*, dont la partie Est était en outre sujette à des pressions considérables du toit et à des gonflements du mur; le grisou avait été aussi entendu plusieurs fois dans le quartier du Nord. Quant au quartier du Sud, il avait donné à plusieurs reprises des dégagements de gaz, et le 23 février 1882, le 17 et le 18 mars, on avait dû abandonner momentanément des chantiers à cause de ces dégagements. A l'avancement de la galerie plate du sous-quartier Est des *North-crosscuts*, un mois avant l'explosion, la présence du gaz avait été constatée à la lampe ;

on l'avait balayé en changeant la disposition de la toile d'aérage, qui formait cloison médiane pour amener l'air jusqu'au front de taille. A l'avancement sud des *South-crosscuts*, sept ou huit semaines avant l'explosion, la lampe avait montré une auréole bleue.

Ces faits ne permettent guère de douter que la présence du grisou dans les travaux ne fût fréquente et probablement habituelle; mais il semble que le gaz était fort mal cherché. En laissant de côté les mineurs eux-mêmes, qui ne se mettaient pas en peine d'en constater la présence dans leurs chantiers (*), les surveillants, chargés de la recherche du gaz, ne paraissent s'être acquittés de ce devoir qu'assez légèrement. Du reste, de leur propre aveu, lorsqu'ils trouvaient du grisou à un front de taille avant la descente des hommes, si un changement dans la position de la toile d'aérage leur permettait de balayer ou diluer le mélange de manière que la lampe ne marquât plus, ils ne se donnaient pas la peine d'en rendre compte, et ne consignaient dans leur rapport journalier que le traditionnel *all right*. Dans ce chantier des *South-crosscuts* où la flamme de la lampe s'était montrée bleue, on n'avait, à la suite de ce symptôme, pris aucune précaution particulière pour le tirage des coups de mine.

La mine était extrêmement poussiéreuse, et l'on n'y faisait point d'arrosages.

Éclairage. — On n'employait que des lampes Clanny aux chantiers. Quelques années avant l'explosion, une tentative faite pour introduire la lampe Mueseler avait été abandonnée à cause des plaintes des ouvriers qui lui reprochaient d'éclairer mal.

Les *deputies* ouvraient leurs lampes, lorsqu'on employait

(*) Un des témoins de l'enquête admettait qu'un chantier pouvait être dans sa partie supérieure plein de mélange explosible, sans que les mineurs s'en aperçussent.

la poudre, pour l'allumage des coups; ils étaient à cet effet autorisés à se munir de clefs.

Circonstances de l'explosion. — C'est à une heure du matin, le 19 avril, que survint l'explosion. La veille au soir, avant de répartir les travailleurs du poste de nuit, le chef de poste avait examiné les lampes; d'ailleurs celles qui furent retrouvées après l'explosion et éprouvées parurent en bon état. La ventilation était bonne comme à l'ordinaire.

Le poste comprenait 16 ouvriers et 2 *deputies*.

Quatre ouvriers étaient employés au quartier des *South-crosscuts*, à l'avancement des deux galeries jumelles par lesquelles on poussait vers le sud le traçage de la voie maîtresse du quartier. Ils travaillaient à la poudre pour le recoupage du banc stérile et du charbon du toit, un peu en arrière des fronts de taille proprement dits. Depuis longtemps on n'entendait plus de chant de grisou dans cette région.

Deux ouvriers travaillaient, dans les mêmes conditions, mais sans employer la poudre, au sous-quartier Est des *North-crosscuts*, à l'avancement de la galerie plate. Ce chantier, distant d'environ 365 mètres du puits en suivant les voies d'entrée d'air, était conduit vers l'Est sur $4^m,50$ à $5^m,50$ de largeur, et se trouvait avancé d'environ 27 mètres en cul-de-sac à partir du dernier recoupement. Pour que l'air y parvînt, la galerie était partagée en deux par une toile d'aérage jusqu'à environ $3^m,65$ du front de taille. Dans ce chantier, le grisou se manifestait à l'ouïe d'une façon continue; il avait été entendu et remarqué durant la journée précédente, au mur de la couche et le long de la paroi de la galerie : suivant l'un, à $1^m,50$ ou $1^m,80$ de l'avancement; suivant un autre, à $3^m,50$ ou $4^m,50$ et du côté du retour de l'air. Il bruissait comme s'il avait barboté dans l'eau. Néanmoins, suivant le *deputy* du poste de

jour, la lampe ne marquait pas. En outre, bien que le chantier fût très solidement boisé jusqu'à 0m,40 du front de taille, le toit donnait énormément de pression. Il ne semblait pas que le mur se fût gonflé pendant les derniers temps.

Telles étaient les places où l'on travaillait dans les quartiers de l'Ouest. Cinq hommes se trouvaient dans le quartier du Nord. A une heure du matin, ces hommes, qui s'étaient réunis pour manger, entendirent un bruit que l'un d'eux prit d'abord pour l'écho d'un coup de mine ; puis, en comprenant la cause, ils coururent vers le puits. En arrivant dans la grande voie du quartier, ils furent assaillis par un nuage de poussière qui soufflait sur eux ; plus loin, ils rencontrèrent l'atmosphère asphyxiante des produits de l'explosion, qui se propageait. Néanmoins ils gagnèrent le puits et furent sauvés.

Ils furent les seuls. Les six travailleurs des quartiers de l'Ouest périrent asphyxiés et plus ou moins brûlés ; au pied du puits d'entrée d'air, cinq ouvriers furent victimes de la violence du coup : quatre d'entre eux gisaient à terre et meurtris, le cinquième fut trouvé noyé dans le puisard. Enfin, à l'extrémité du quartier Sud, deux hommes furent brûlés si gravement que la brûlure paraît en partie la cause de leur mort.

État des lieux après l'accident ; point-origine de l'explosion. — Les *crossings* furent détruits, les portes et les barrages d'air emportés. Les effets destructifs se firent sentir jusque dans le puits d'entrée d'air, dont la partie inférieure fut endommagée, notamment par le brisement des guidonnages. L'aspect général des lieux, la manière dont les boisages étaient carbonisés, les traces d'efforts violents rendaient manifeste que le siège de l'explosion avait été dans la région de l'ouest de la mine. Mais à laquelle des deux places de travail, à l'avancement sud des

South-Crosscuts, ou à l'avancement Est de la galerie plate des *North-Crosscuts?*

A l'avancement sud des *South-Crosscuts*, il n'y avait pas beaucoup de dégâts par force destructive, mais il y avait des traces d'une combustion énergique, des bois carbonisés ; au point de vue du sens de propagation du phénomène, les indications étaient confuses. Dans la recoupe est-ouest située un peu en arrière des avancements des deux galeries jumelles, les chandelles étaient entièrement carbonisées de toutes parts. Au front de taille de celle de ces deux galeries qui était le plus à l'est, on trouva un coup de mine prêt à tirer, tout amorcé, mais intact ; au front de taille de l'autre, un coup de mine avait été manifestement tiré : les débris provenant de ce coup de mine formaient un monceau sur le sol de la galerie. Toutefois l'opinion que ce coup de mine avait déterminé l'explosion ne se soutint pas devant l'enquête. Il fut établi qu'on avait trouvé, sur ce monceau de débris, un tabouret et un pic paraissant laissés là par un ouvrier qui s'y était installé pour piquer au toit. Un témoin dit même que cet ouvrier avait dû déjà faire quelque travail, car à la surface des débris abattus par le coup de mine on pouvait distinguer un peu de charbon et de stérile paraissant provenir du piquage. Quoi qu'il en soit, la présence de cet instrument sur les débris prouve que l'explosion n'avait pas été contemporaine du coup de mine.

Au contraire, presque tous les faits concordent à montrer que le chantier de la galerie plate, au sous-quartier Est des *North-Crosscuts*, fut le point-origine de l'explosion. A ce chantier un éboulement s'était produit. Une vaste pierre en forme de dalle, mesurant 4 ou 5 mètres sur $0^{m},50$, avec une épaisseur de $0^{m},25$ environ, s'était détachée du toit à environ 1 mètre de l'avancement et barrait la galerie sur presque toute sa largeur. A l'endroit du toit d'où elle s'était détachée existait une cavité ou cre-

vasse qui paraissait pénétrer dans les strates sur plusieurs mètres de hauteur. A environ 25 mètres de l'avancement gisaient les corps des deux ouvriers, la face contre terre, derrière un wagon qui se trouvait là dans la galerie. Ils paraissaient avoir pris la fuite, et dans leur course avoir buté contre ce wagon. Une de leurs lampes était à terre à 5 ou 6 mètres de l'avancement. L'autre fut trouvée à environ 1 mètre ou 1m,20 de l'avancement, enfoncée dans le menu et la poussière, avec un bois de soutien renversé et brisé, sous la grosse pierre de l'éboulement. Au même lieu se trouvaient des vestiges indiquant que les deux hommes s'étaient installés là pour manger : du pain semé çà et là; deux bidons de thé, dont l'un était débouché, mais intact et contenant du liquide.

La toile d'aérage, qui partageait en deux la galerie, était partiellement arrachée et brûlée; elle paraissait avoir été chassée en arrière, et sur une longueur d'environ 2 mètres, elle avait été repliée autour d'une chandelle. Les traces de feu, bois carbonisés, croûtes de coke, étaient intenses et multipliées, surtout sur la paroi située au nord de la toile d'aérage, côté par où le courant d'air arrivait au chantier. L'aspect de ces traces concordait avec l'hypothèse d'un coup de grisou venu du chantier même. Le long du chemin d'arrivée de l'air, en suivant les chantiers vers le nord-nord-ouest, les effets de carbonisation étaient considérables; un wagon, par la manière dont ses parois étaient brûlées, indiquait bien que le feu avait dû venir du sud. Les effets mécaniques croissaient le long de cette même ligne à mesure qu'on s'éloignait; or, on sait que ces effets ne sont jamais intenses au foyer même de l'explosion.

Dans la galerie plate elle-même, le bouleversement était capricieux : des wagons qui se trouvaient à l'évitement de la voie avaient eu leur partie supérieure emportée vers l'ouest, tandis que leurs portions inférieures avaient grimpé les unes sur les autres comme sous un effort dirigé ouest-est. La porte

de bois qui barrait la galerie près du *caution-board* paraissait avoir été ouverte de l'est vers l'ouest par la force de l'explosion; cependant les briques du barrage étaient emportées vers l'est. Il ne faut pas attacher plus d'importance qu'il ne convient à des effets très capricieux de leur nature même; toutefois l'on peut expliquer, si l'on veut, la plupart de ces faits en admettant que l'explosion, remontant comme toujours le courant d'air, se propagea vers le nord-nord-ouest suivant la ligne des chantiers, tandis qu'une portion relativement faible de l'effort se faisait seule sentir vers l'ouest dans la *galerie plate;* la déflagration principale, continuant de gagner l'air frais, revint vers le sud par la galerie-maîtresse des *North-Crosscuts*, et à son passage produisit dans la *galerie plate* d'autres et puissants effets mécaniques en sens inverse des premiers (*).

Lorsque, seize ou dix-sept heures après l'explosion, on pénétra dans la *galerie plate* et jusqu'à l'éboulement voisin du front de taille, tout le chantier craquait et de nouvelles tombées du toit paraissaient imminentes; de l'aveu de tous les explorateurs, la place semblait très dangereuse. A partir du point où gisaient les deux victimes, les lampes marquaient; plus loin le grisou se dégageait abondamment. On laissa les lampes en arrière, et après une constatation sommaire, on se hâta de battre en retraite.

Par la suite, le grisou continua à se dégager, et se fit entendre encore pendant longtemps. Les roches travaillèrent, et le mur se souleva. Dans une visite faite un mois après l'accident, on trouva que l'éboulement s'était complété; des débris étaient tombés sur la grande pierre et en deçà par rapport au front de taille, au point d'obstruer la galerie sur presque toute sa hauteur. La crevasse, plus ou

(*) Cette théorie fut présentée, au cours de l'enquête, par M. Fairlie, *viewer* au charbonnage de Craigend, qui fut le premier qui pénétra dans ce quartier de la mine après l'accident. Ce témoin s'est montré très affirmatif quant au lieu de l'explosion.

moins agrandie par ces chutes ultérieures, se présentait comme une grande brisure, comme une ouverture dans les strates qui pouvait avoir en hauteur 4, 5 mètres ou même plus, car l'opinion fut émise qu'elle s'élevait peut-être jusqu'à la couche Busty, à $10^m,80$ au-dessus. A l'intérieur de cette cavité, les rochers semblaient avoir glissé à la faveur de deux failles. Les matériaux éboulés comprenaient une certaine quantité de sable meuble. Il est assez difficile de décider si, quand le tout était en place, il préexistait oui ou non un espace vide au sein des roches du toit.

Cause de l'explosion. — Les faits qui précèdent semblent bien prouver que l'explosion eut son siège à cet avancement de la *galerie plate* Est du quartier des *North-Crosscuts.*

Il résulte d'ailleurs de tout ce que nous avons dit sur l'état de la mine que la présence du grisou y devait être un fait général et habituel; en sorte que pour rendre compte de l'accident il n'est pas même besoin de supposer un dégagement exceptionnel de gaz. Toutefois, l'hypothèse d'un pareil dégagement ne manqua pas de se produire dans l'enquête. Il est possible, après tout, qu'en outre de l'état grisouteux général et sous l'influence même de cet état, un dégagement exceptionnel se soit produit au chantier et ait achevé de rendre l'air inflammable : soit que le gaz ait été émis par le massif de charbon, sous forme d'un *dégagement instantané* plus ou moins analogue à ceux de Belgique; soit qu'il ait fait, lors de l'éboulement, irruption hors de la crevasse du toit. Cette dernière supposition, à peine est-il besoin de le dire, est celle qui a été mise en avant et admise sans difficulté par les ingénieurs anglais, aux yeux desquels, comme les exemples de Seaham et de Tudhoe l'ont déjà montré (*), l'hy-

(*) Cf. *supra*, p. 270.

pothèse de réservoirs de gaz, préexistant sous pression dans les strates failleuses des toits, paraît aisément vraisemblable, peut-être un peu parce qu'elle est commode et suffit à tout expliquer.

Quant à la cause de l'inflammation même du mélange explosif, c'est question secondaire. Les lampes des deux ouvriers furent trouvées en bon état; celle que l'éboulement avait couverte avait seulement sa garniture faussée. Il est vraisemblable que la flamme sortit du tamis de l'une d'elles, soit sous l'action seule du coup de vent occasionné par l'éboulement, soit, en tout ou en partie, sous l'influence du mouvement brusque imprimé à cette lampe par l'un des ouvriers. Tout indique, en effet, que les deux hommes, avertis du péril tandis qu'ils prenaient leur repas, sans doute par quelque craquement ou autre symptôme, prirent la fuite en emportant précipitamment la lampe, qui fut retrouvée à 5 mètres de là : ce mouvement rapide, au sein d'une atmosphère explosive, suffit à expliquer l'inflammation.

Conclusion. Remarques générales. — Ici encore, comme pour les accidents précédemment décrits, et en général pour toutes les catastrophes de grisou qui surviennent en Angleterre, il y a lieu de remarquer avec quelle universalité le fléau se répand dans toute la mine. Dans le cas présent, un seul quartier est épargné sur quatre, et treize hommes meurent sur dix-huit. — La cause principale en est certainement dans le tracé du réseau de ventilation, dans la proximité systématique et les croisements des voies d'air et de retour, dans la solidarité de l'aérage des différents quartiers, conséquence de l'application des mêmes principes, et notamment de l'emploi des *crossings*, au voisinage de la base des puits.

En outre, deux circonstances, communes aux trois acci-

dents dont le récit précède, méritent d'être spécialement mises en lumière.

La première est que dans chacun des trois cas l'explosion semble s'être ranimée et avivée en certains points de la mine, comme si elle y avait rencontré un aliment auxiliaire : si bien qu'on observe une violente recrudescence dans les effets caloriques, à Trimdon-Grange, à l'extrémité sud-ouest du quartier des *Headways;* à Tudhoe, dans le *Sunderland-bridge-wag;* à West-Stanley, dans le quartier des *South-Crosscuts*. D'où provient ce phénomène?

Pour le dernier cas, notamment, l'opinion a été émise au cours de l'enquête, en raison des phénomènes de carbonisation indiquant un grand développement de chaleur, que cette recrudescence d'effets devait avoir pour cause la combustion des poussières. C'est possible dans une certaine mesure; mais les hypothèses qui se rattachent à ces questions de poussières manquent trop souvent de moyens de contrôle. Il est permis tout aussi bien de voir dans ces effets, surtout pour les deux premières explosions, l'intervention de dégagements accessoires ou d'accumulations préexistantes de grisou. La préexistence du grisou dans certaines régions de la mine est fort vraisemblable, si l'on songe qu'en Angleterre la recherche du gaz semble être faite en général d'une manière très rapide et superficielle, que les rapports journaliers des surveillants ne sont guère sérieux, et que leur négligence n'est pas rare. Quant aux dégagements de gaz résultant de l'explosion initiale, ils sont très possibles avec ces longs courants d'air des mines anglaises, qui souvent passent chacun le long d'un grand nombre de fronts de taille et suivent le bord de dépilages étendus.

La seconde circonstance à remarquer est la facilité avec laquelle l'explosion se propage en remontant les courants d'air frais, même à de très grandes distances. Parmi les dégâts matériels des explosions, que les interrogatoires des enquêtes font connaître en grand détail, un trait constant

est que, dans les galeries-maîtresses, les barrages en briques destinés à isoler les voies d'entrée et de retour d'air, sont emportés de la voie d'entrée vers la voie de retour ; et dans les grandes galeries d'entrée d'air on trouve çà et là, comme à Trimdon-Grange, comme à Tudhoe, des cadavres portant des traces de brûlures, témoignage de la propagation du coup de grisou par l'air frais.

Pour bien comprendre ce fait constant, il faut sans doute le rapprocher des expériences de MM. Mallard et Le Châtelier sur la vitesse de propagation de l'inflammation au sein des mélanges gazeux explosibles. Qu'on remplisse d'un pareil mélange un tube ouvert à un bout, fermé à l'autre : l'inflammation a-t-elle lieu par l'extrémité ouverte, elle se transmet doucement jusqu'au fond du tube avec la vitesse *normale* de propagation ; a-t-elle lieu au contraire du côté de l'extrémité fermée, la transmission est presque instantanée, sa violence s'accompagne d'effets destructeurs, on a en un mot une *explosion*. Or, quand l'atmosphère grisouteuse s'enflamme en un point d'une mine, la voie d'accès de l'air, dont l'*orifice équivalent* est en général assez grand, représente fort bien le bout ouvert du tube, tandis que le réseau de retour, à *orifice équivalent* beaucoup plus restreint, en est pour ainsi dire le bout fermé.

Dans les grands aérages anglais, notamment, cette opposition de caractères entre les entrées et les retours d'air est souvent très marquée. Les voies d'entrée d'air et de roulage sont à vaste section, à tracé individuellement rectiligne, à large *orifice équivalent ;* tandis qu'à la suite des ramifications de leur réseau, les retours d'air ont en partage les sections restreintes, les détours et complications de tracé, les voies en mauvais état, les passages à l'étage supérieur des crossings, parfois l'interposition des guichets régulateurs. Alors la transmission instantanée, ou explosion, a lieu seulement par les entrées d'air. Elle s'y

produit d'ailleurs quel que soit l'afflux d'air frais qui arrive normalement par ces voies dans le fonctionnement régulier de la ventilation : c'est ainsi que nous voyons se propager des explosions par la galerie de *Pit-narrow-board*, à Trimdon-Grange, où $5^{mc},9$ d'air passent par seconde; et par le premier tronçon de la grande galerie de l'ouest, à Tudhoe, où le débit par seconde dépasse 13 mètres cubes.

Ces lois de propagation, de même que tous les faits signalés plus haut, contribuent donc à démontrer l'importance d'un tracé prudent des voies d'aérage.

Rendre les divers quartiers de la mine indépendants, fractionner les courants d'air, isoler les circuits et, dans chaque circuit, les voies d'entrée et de retour, afin d'empêcher que les accidents ne dégénèrent en catastrophes; puis, répartir l'air dans chaque région proportionnellement à ses besoins, combattre les accumulations de mauvais gaz dans les vieux travaux, surveiller l'état de la mine avec vigilance, balayer le grisou en tous ses points de dégagement, afin de diminuer les chances d'explosion et de prévenir la coexistence de plusieurs foyers possibles d'inflammation; enfin, en même temps qu'on fractionne les parcours d'aérage, restreindre autant que possible la longueur de chacun d'eux, puisque le trajet de l'air, de chaque chantier au puits, offre à l'explosion une voie de propagation naturelle où rien ne l'arrêtera : — telles seraient les règles à suivre résultant directement de notre étude. D'une part, elles nécessitent l'envoi de beaucoup d'air au fond de la mine : sur ce point les houillères anglaises sont dans des conditions satisfaisantes, car les puits d'entrée d'air y offrent des débits considérables; mais d'autre part elles montrent qu'une sage et prudente répartition de cet air est la condition essentielle inséparable de la première, sans laquelle on perd presque tout le profit de la puissance actuelle des moyens de ventilation.

Les houillères d'Angleterre sont incontestablement défectueuses à ce second point de vue : il est juste d'ajouter que ces conditions naturelles des grandes couches plateuses, et les méthodes d'exploitation qui en résultent presque nécessairement, rendent difficile, sous ce rapport, une solution satisfaisante.

APPENDICE.

Circonstances d'une explosion survenue à la houillère de Whitehaven le 25 avril 1882.

Quelques jours seulement après l'accident de West-Stanley, un autre explosion survint au charbonnage bien connu de Whitehaven (Cumberland), et tua quatre ouvriers dans les circonstances suivantes, qui sont curieuses à rapporter.

On sait que cette houillère, située au bord de la mer, exploite les trois couches principales de *Bannock-Band* (146 mètres de profondeur et $2^m,44$ de puissance), *Main-Band* (183 mètres et $3^m,20$) et *Six-Quarter* (256 mètres et $2^m,29$) ; l'accident eut lieu dans la couche *Main-Band*, qui est desservie par le puits Henry pour l'extraction et par le puits William pour le retour d'air, ventilée au moyen d'un Guibal de $10^m,973$ de diamètre et $3^m,648$ de largeur, et dont les travaux, étendus jusqu'à plus de 5 kilomètres des puits, couvrent une superficie, principalement sous-marine, d'environ 1.200 hectares. La partie de la mine où l'explosion eut lieu, située à l'extrémité ouest du quartier Forster, est éloignée d'un peu plus de 4 kilomètres du puits Henry en suivant les voies d'entrée d'air. Les travaux de Forster ont pour limite occidentale une faille, qui abaisse les strates vers l'ouest de $29^m,26$. On avait établi, pour rejoindre le niveau de la couche au delà de ce rejet et ouvrir vers l'ouest un champ d'exploitation appelé quartier de la Comtesse, un travers-bancs descendant à la pente de 1/6,

long de 190 mètres, avec une section de $2^m,13$ de haut sur $2^m,69$ de large (*fig.* 2, Pl. V). Ce travers-bancs avait été exécuté en cul-de-sac, en aérant le chantier au moyen d'une cloison qui partageait en deux la galerie. Une fois ce travail achevé, on avait ouvert dans la couche, de l'ouest vers l'est, une galerie en retour qui allait rejoindre la faille, puis établi en E un petit puits incliné montant, suivant la ligne de plus grande pente de la faille, de manière à regagner le quartier Forster et compléter le circuit d'air.

Mais, deux mois environ avant l'accident, un éboulement s'était produit en E, dans la faille, et avait obstrué le circuit. On avait alors rétabli provisoirement l'aérage au au moyen de cloisons, dont la *fig.* 2 fait comprendre la disposition et le fonctionnement. Dans le travers-bancs, la cloison était formée d'une seule épaisseur de briques de $0^m,114$, renforcée à des intervalles réguliers par des contreforts additionnels de même épaisseur. Dans la couche de houille, les cloisons étaient tout simplement en planches, avec du ciment dans les joints. Le courant d'air qui entrait dans le travers-bancs, et qui avait déjà fait un trajet d'une lieue dans la mine, avait ainsi à parcourir 380 mètres avant d'arriver en regard du point E; puis il devait revenir en sens inverse, de l'autre côté des cloisons, sur une longueur de 275 mètres, jusqu'au petit puits intérieur B par où il achevait de gagner le niveau de la couche.

« Or, dit le rapport au Parlement, on savait fort bien qu'on rencontrerait une quantité considérable de gaz dans le district de la Comtesse, et en prévision de ce danger, on ne permettait que l'emploi des lampes Geordy au delà du travers-bancs, tandis que la lampe Davy était employée dans d'autres parties du charbonnage. Différents ouvriers ont dit avoir vu du grisou dans ce district; il est vrai qu'il était généralement localisé dans la galerie en retour, et dans le compartiment de retour d'air derrière la cloison. Sa présence, néanmoins, en petite quantité, fut également

constatée à plusieurs reprises aux fronts de taille des chantiers. Il paraît qu'on connaissait communément la présence d'un dégagement de gaz dans le voisinage de l'éboulement, au bout de la galerie en retour; cependant, le personnel dirigeant de la mine ne jugea pas nécessaire d'examiner la place ni de prendre aucune précaution pour prévenir l'accumulation du grisou. Depuis l'époque de l'éboulement, non seulement l'on n'inspecta jamais le compartiment de retour d'air, mais même le compartiment d'entrée d'air de la galerie en retour ne fut examiné que juste assez pour constater qu'il contenait du gaz en quantité considérable; après quoi on le laissa sans prendre aucune précaution pour prévenir le danger. »

Si l'on ajoute que dans ces conditions on laissait les ouvriers travailler, comme si de rien n'était, aux chantiers voisins du pied du travers-bancs, et que la réfection du puits *E* pour le rétablissement d'un aérage raisonnable n'était encore ni commencée ni ordonnée après deux mois de cet état de choses, on reconnaîtra qu'une explosion de grisou était inévitable. Cette explosion eut lieu dans la soirée du 25 avril, alors que cinq hommes étaient dans les travaux, savoir : deux au chantier le plus reculé et trois au pied du travers-bancs. L'un des deux premiers, seul, parvint à gagner le sommet du travers-bancs; les quatre autres périrent.

NOTE
SUR L'EMPLOI DES GROSSES MINES
AUX CARRIÈRES DE LAFARGE-DU-TEIL

Par M. ORIEULX DE LA PORTE, ingénieur civil des mines,
sous-inspecteur au chemin de fer de l'Ouest.

Parmi les différents systèmes d'exploitation usités dans les carrières à ciel ouvert, le plus intéressant est sans contredit le système des grosses mines employé dans quelques régions et notamment dans l'Ardèche. C'est, croyons-nous, aux carrières de Lafarge-du-Teil que ce système a dû être employé pour la première fois, au moins dans cette région, et c'est encore là que se font le mieux ces mines puissantes. Nous choisirons donc comme type du genre la grosse mine du 18 juin 1881 que nous avons préparée et fait partir, étant à cette époque ingénieur des usines de Lafarge.

Pour se rendre un compte exact de l'opération, il est indispensable d'étudier sommairement la géologie de l'endroit. Les carrières de Lafarge, sises mi-partie sur la commune du Teil et mi-partie sur celle de Viviers, dans le département de l'Ardèche, sont exploitées par MM. Pavin de Lafarge pour fabriquer une chaux hydraulique dont la réputation est aujourd'hui universelle. Elles sont ouvertes dans la puissante formation crétacée, si développée dans cette région sur toute la rive droite du Rhône, et qui renferme les différents étages du crétacé inférieur, le néo-

comien, l'urgonien, l'aptien et le gault. L'âge exact des calcaires de Lafarge n'est pas encore, à notre avis, complètement déterminé. On les a classés jusqu'à présent dans le calcaire à criocères ou l'urgonien inférieur. Mais les fossiles que nous avons pu recueillir pendant notre séjour à Lafarge paraissent devoir rapprocher ces couches de l'étage aptien et en faire peut-être un équivalent des couches de La Bédoule, qui sont franchement aptiennes.

Si, laissant de côté cette question d'âge encore obscure, on passe à l'étude stratigraphique des lieux, on reconnaît que le front de taille de la carrière présente trois assises superposées, orientées 45° à 50° (Nord magnétique) avec pendage N. O. de 8° à 10°. L'épaisseur du banc inférieur, dans la partie que l'on voulait abattre, est de 20 mètres environ; celle du banc moyen de 40 mètres et celle du banc supérieur varie de 0 à 30 mètres (Pl. V, *fig* 8).

Ces bancs sont recoupés de nombreuses diaclases dont les deux directions principales sont 50° à 60° avec pendage S. O. de 75 à 80°, et 120° à 130° avec pendage N. E. de 75° à 80°. Ce sont les *failles* des carriers.

Les paraclases sont plus rares. Il s'en trouve une cependant précisément dans la partie qui nous occupe. Son pendage est au nord, de 2° environ. Sa direction n'a pu être relevée exactement, l'éboulement de la mine l'ayant masquée après l'explosion; mais d'après d'anciens plans de la carrière, nous la supposons orientée à peu près E.-O. Cette faille se présente sous forme d'une cassure franche dans les parties vives de la pierre, d'un magma pierreux dans la partie supérieure formée d'éboulis et de parties émiettées. Son mouvement se traduit par un rejet assez notable, le mur étant descendu sous le toit, à l'inverse de ce qui a lieu généralement.

La stratification et les diaclases recoupent donc la roche en parallélipipèdes à peu près rectangles que les mineurs désignent sous le nom de *chandelles*, quand ils sont dégagés

sur deux ou trois faces. Il en résulte pour l'exploitation la facilité d'abattre de grosses masses en plaçant convenablement le foyer par rapport à certains joints plus développés que les autres. Ainsi la partie que l'on voulait abattre formait sur la carrière un redan en saillie d'une douzaine de mètres en moyenne. Le front de taille étant dirigé suivant le premier système de diaclase, on devait avoir par derrière une série de joints parallèles. Les diaclases du second système se dessinaient très nettement sur la face libre. En coupe, le banc supérieur, très déchiqueté, surplombait de beaucoup le banc moyen. Celui-ci dépassait encore le banc inférieur que l'on avait déjà attaqué assez profondément par de petites mines (*fig.* 4).

Cela posé, voici quelles sont en général les règles à suivre. Il faut placer la charge à une distance telle de la face dégagée que la quantité de poudre nécessaire pour chasser en avant la partie la plus faible soit insuffisante pour soulever la partie supérieure. L'explosion débarrasse alors la base en ébranlant toute la masse et la partie supérieure s'éboule par son propre poids dans le vide.

Il y a donc là un problème assez complexe à quatre termes : le cube à abattre, la charge de poudre, la plus courte distance du foyer à la face dégagée et la hauteur de rocher au-dessus de la charge. En général, on se donne, approximativement au moins, le cube à abattre ; l'expérience indique alors la position du foyer dont les deux coordonnées doivent avoir entre elles un certain rapport et c'est l'abcisse ou distance du foyer à la face libre qui détermine la charge exacte.

A Lafarge, ce problème complexe et délicat est résolu par MM. Pavin de Lafarge eux-mêmes, aidés de leurs maîtres-mineurs ; leur longue expérience est leur plus sûr guide, et leurs grosses mines ont toujours prouvé par leurs bons effets l'exactitude de leur appréciation.

Quelquefois, et c'est ce qui a eu lieu dans le cas qui nous

occupe, on procède par approximations successives : étant donné le cube à abattre, on détermine à peu près la charge nécessaire et par suite la position du foyer. On tâche alors de placer ce foyer le plus près possible de la position voulue, et ce sont les cotes réelles, relevées à la fin du travail, qui donnent la charge exacte.

Il existe pour cette dernière partie du problème la formule de Burgoyne, dont voici l'énoncé : « La charge de poudre, exprimée en grammes, doit être égale à la moitié du cube de la ligne de moindre résistance exprimée en décimètres. » Mais ce coefficient de 0,50 ne tient pas compte de la nature de la roche et des facilités qu'elle peut offrir à l'éboulement. A Lafarge, il serait beaucoup trop fort. Ainsi la plus courte distance du foyer à la face libre était de 28 mètres ; la règle de Burgoyne donnerait près de 11.000 kilog. de poudre. L'expérience de MM. de Lafarge leur a fait mettre seulement 7.000 kilog. et la mine a parfaitement réussi. Le coefficient n'est plus alors que de 0,32 environ.

On doit plutôt craindre de ne pas mettre assez de poudre, car si la force d'expansion était insuffisante, on ébranlerait toute la masse sans chasser le pied et on pourrait avoir un renversement de la tête avec projections de pierres. Mais il faut aussi éviter une charge outrée, car on s'exposerait alors à chasser trop violemment le pied et à faire canon. Deux dangers également redoutables, étant donnée la situation des usines : à 100 mètres en avant du front de taille actuel et à une douzaine de mètres en contre-bas de la plateforme de la carrière se trouvent les fours, les extinctions, puis la route nationale n° 86 de Lyon à Beaucaire, de l'autre côté les bluteries et plus loin le Rhône. C'est donc dans une langue de terre de 500 à 600 mètres de longueur, resserrée entre le Rhône et la montagne, que se trouvent agglomérés les fours, les ateliers, les habitations ouvrières, l'église, l'hospice, la cantine et toutes les

autres créations économiques et morales de MM. de Lafarge; sans oublier non plus le chemin de fer de la rive droite du Rhône qui passe en tunnel sous la carrière. On conçoit aisément les désastres que pourrait occasionner une mine mal faite.

Voici maintenant l'historique de la grosse mine de 1881.

On a commencé par ouvrir une galerie au rocher sur la face nord de la partie dégagée, tout à fait dans l'angle, et on l'a conduite à peu près parallèlement au front de taille. Les mineurs travaillaient à prix fait. Le forage se faisait au fleuret; les mines étaient chargées le plus souvent à la dynamite, quelquefois à la poudre. Tout boisage était, bien entendu, complètement inutile. On a rencontré quelques suintements d'eau, mais sans importance.

L'aérage, quand la galerie eut atteint une certaine profondeur, se faisait difficilement et les gaz s'échappaient très lentement après les coups de mine. On avait bien posé un manchon en bois destiné à servir de cheminée d'appel; mais il eût fallu le faire monter jusqu'au haut de la carrière pour avoir un tirage utile, ce qui n'avait pas lieu.

Les mineurs accédaient à la galerie au moyen d'échelles et de cordes placées le long des éboulis provenant d'une mine tirée l'année précédente en cet endroit. Les figures 5 à 7 indiquent la forme de la galerie : à 17 mètres de l'entrée, on a foncé un premier puits de 3 mètres de profondeur; puis on a repris la galerie horizontale. A 15 mètres du premier puits, on s'est détourné à droite et on a commencé à foncer un second puits qui devait se terminer par la poche. Mais la plus courte distance à la face libre eût été de plus de 30 mètres, ce qui aurait nécessité une charge de poudre trop forte, eu égard au cube à abattre, qui était évalué à 60.000 ou 70.000 mètres cubes environ. On a donc arrêté ce second puits à 2 mètres de profondeur et on a creusé une nouvelle galerie revenant sous la première avec

une pente assez rapide. C'est alors qu'on a foncé un troisième puits élargi à sa partie inférieure pour former la poche destinée à recevoir la poudre. Ce retour en sous-œuvre n'était pas un travail perdu, car il devait faciliter le bourrage, qui est la chose essentielle dans ces sortes de mines et en vue duquel on avait déjà fait les deux premiers puits.

Quatre mineurs et deux manœuvres, pour la sortie des déblais, travaillant en deux équipes, une de jour, une de nuit, ont exécuté ce travail en quatre mois.

Pendant ce temps, le profil extérieur de la carrière avait été relevé soigneusement au moyen d'un théodolite simplifié, de façon à donner des lignes de niveau à différentes hauteurs et à établir les plans et coupes reproduits *fig.* 3 et 4. La galerie fut levée à la boussole des mines et reportée sur le plan qui avait été lui-même exactement orienté. C'est ainsi qu'on reconnut la distance minima de 28 mètres et la hauteur de 55 mètres de rochers au-dessus de la poche, qui déterminèrent la charge de 7.000 kilog. de poudre.

Le plus long était fait, mais non le plus difficile; il fallait procéder au chargement. On commença par fermer presque complètement l'orifice de la poche au moyen d'une maçonnerie hourdée au plâtre, supportée sur des pièces de bois encastrées dans les parois, et ne laissant qu'un passage de $0^m,50$ pour la poudre. Puis on plaça la mèche qui consistait en une série de tuyaux de plomb de $0^m,04$ de diamètre intérieur reliés par des brides en fer, complètement remplis de poudre et contenant en outre deux mèches Bickford dans toute la longueur, en prévision du cas où la poudre raterait pour une cause quelconque. Une des extrémités de ce tuyau pénétrait jusqu'au milieu de la poche et se recourbait en U ; les deux mèches débordaient de quelques décimètres. L'autre extrémité arrivait jusqu'à l'entrée de la galerie et était provisoirement bouchée.

On avait d'autre part installé sur le haut de la montagne

un échafaudage en surplomb d'environ 2 mètres portant à une extrémité une poulie de renvoi et à l'autre un treuil à main. On manœuvrait par ce moyen une petite benne qui descendait sans rencontrer d'obstacles et arrivait à quelques mètres de l'entrée de la galerie.

Ces préliminaires terminés, on commença le chargement qui est sans contredit, de tout le travail, l'opération la plus dangereuse. Vingt-six mineurs et manœuvres, chaussés d'espadrilles en cordes, ne portant plus sur eux le moindre objet métallique, boucles de gilet ou de pantalon, couteaux etc., montèrent à la galerie et s'échelonnèrent à l'intérieur. Le maître mineur était au poste d'honneur, à l'entrée de la poche.

Les 140 barils de poudre avaient été amenés précédemment à la poudrière, située plus au Sud en dehors de la carrière, à mi-flanc de la montagne. On les défonçait là, puis on montait les sacs à dos d'homme jusqu'au sommet. On les divisait alors en deux sacs de 25 kilog. que l'on descendait au frein dans la benne et qui passaient de main en main jusqu'au fond où le maître mineur les vidait dans la poche. Cette opération dura six heures. Elle aurait pu être abrégée si le treuil avait été à double effet. Mais d'un autre côté, les hommes n'étaient pas fâchés de pouvoir sortir de temps en temps pour laisser aux sacs le temps de s'amasser à l'entrée, car au bout d'une heure l'atmosphère du fond était absolument saturée de poussière de poudre et la respiration y était très pénible.

On n'avait pas cherché à faire monter les sacs directement de la carrière à l'entrée de la galerie, à cause du voisinage des fours qui aurait été trop dangereux, et de la nécessité où l'on aurait été de suspendre le travail dans toute cette partie de la carrière.

Une fois le dernier sac vidé, on étendit sur la poudre une couche de paille; puis on acheva de remplir la poche avec du sable et de la terre jusqu'à l'orifice ma-

çonné. Deux maçons gagnèrent alors le fond de la galerie; les hommes échelonnés leur passaient les matériaux qui descendaient par le même chemin que la poudre. On continuait bien entendu à travailler dans l'obscurité la plus complète. Les marteaux et les truelles étaient interdits : on gâchait le plâtre et on l'employait à la main, et les pierres servaient telles qu'elles se présentaient.

On commença par remplir deux mètres de galerie avec des sacs de terre; puis un mètre avec une maçonnerie de pierres hourdée au plâtre. Le temps paraissant manquer, on continua le bourrage avec des sacs de terre, des pierres et du plâtre employé à profusion,de façon à former un mur offrant le moins de vides possible. De distance en distance, on plaçait de forts rondins de chêne en croix de Saint-André, coincés contre les parois et arcboutés à chaque coude ou puits par des buttes également en chêne. Une fois arrivé à la galerie de 15 mètres, on ne mit plus que des sacs de terre pour aller plus vite; mais le premier puits fut maçonné solidement en pierres et plâtre, ainsi que deux mètres de la première galerie. On plaçait toujours de distance en distance des croix de Saint-André en chêne.

Ce travail de bourrage dura 32 heures consécutives, du 17 juin à 3 heures du matin jusqu'au 18 à 11 heures. La galerie fut alors évacuée et l'échafaudage du haut retiré ainsi que les échelles donnant accès à la mine.

Le maître mineur avait eu soin, avant cette dernière opération, de découvrir l'orifice extérieur du tuyau de plomb; il y plaça une mèche Bickford de 10 mètres de long sur laquelle il brancha une seconde mèche aboutissant à un pétard qui devait faire explosion cinq minutes avant que le feu ne parvint à l'entrée du tuyau. Une corde permettait encore d'arriver à l'extrémité inférieure de la mèche.

Le moment de l'explosion avait été fixé à trois heures de

l'après midi, de concert avec la compagnie P.-L.-M. qui se souciait peu d'avoir un train dans le tunnel au moment de l'éboulement. On devait donc laisser passer l'express du Teil à Nîmes, puis couvrir les voies au Nord et au Sud du souterrain. Un employé de la compagnie avait en outre reçu mission de se tenir dans le tunnel vers l'entrée Sud, la plus rapprochée de la mine, pour s'assurer qu'il ne se produirait aucune avarie, ce qui du reste était peu à craindre, étant donné l'épaisseur de rocher naturel au-dessus de la voûte et le matelas de remblai superposé au rocher.

MM. de Lafarge avaient pris de leur côté toutes les mesures commandées par la prudence. Un cavalier en pierres sèches de deux mètres de haut protégeait toute la batterie de fours placée devant la mine. A deux heures et demie l'usine fut évacuée complètement et la route nationale barrée à ses deux extrémités par la gendarmerie. La pompe à incendie avait été sortie également de l'usine, prête à fonctionner au cas peu probable où quelque four brisé allumerait un incendie. Toute la population s'était retirée au bord du Rhône, à cinq ou six cents mètres de la mine dans une direction où les projections de pierres n'étaient pas à craindre.

Le 18 juin 1881, à trois heures précises de l'après midi, en présence de MM. les Ingénieurs des mines et des ponts et chaussées de la région, des Ingénieurs du chemin de fer de Lyon, de MM. Pavin de Lafarge et de tout leur personnel, le maître mineur alluma la mèche et se retira avec un des MM. de Lafarge et l'ingénieur des usines, restés seuls avec lui sur la carrière jusqu'au dernier moment. La mèche devait durer quinze à vingt minutes. Ce fut un moment d'attente plein d'anxiété. Au bout de treize minutes le pétard détonna; cinq minutes après le sol vibra sous les pieds des spectateurs comme dans une secousse de tremblement de terre, la montagne se crevassa et s'ouvrit

sans bruit et un formidable éboulement vint s'abattre sur la plateforme de la carrière avec le roulement sourd et prolongé d'une avalanche.

Les choses s'étaient passées commes elles avaient été prévues. Les assistants ont pu voir très nettement le rocher, à la hauteur de la poche, se crevasser et se gonfler, projeté en avant par l'explosion. Quelques secondes après, la partie supérieure manquant de pied s'affaissait dans le vide et refoulait les pierres déjà tombées jusqu'au cavalier de protection.

L'effet a été beaucoup plus considérable qu'on ne l'espérait et le cube abattu a dépassé de beaucoup les prévisions. Tout ce quartier était déjà très ébranlé par des mines précédemment tirées et cette formidable secousse a achevé ce que les autres avaient commencé. On comptait sur un abatage de soixante à soixante-dix mille mètres cubes : le métrage a donné un déblai de cent vingt à cent trente mille mètres cubes et un tas d'éboulement de cent cinquante à deux cent mille mètres cubes environ.

Le banc inférieur, qui se trouvait tout à fait en dehors de l'action de la mine, a dû cependant être entamé aussi quelque peu. C'est ce qu'on ne pourra savoir d'une manière certaine que plus tard, quand le déblaiement sera achevé.

Nous avons dit que l'explosion s'était faite sans bruit : c'est en effet un caractère propre à toutes les mines d'une charge supérieure à cent kilog. de poudre environ. Le fracas de l'éboulement et sa durée seuls permettent à l'oreille de juger de l'importance de ces sortes de mines. Mais il est impossible de percevoir la plus légère détonation, et dans le cas actuel les spectateurs ont *vu* le moment précis de l'explosion sans pouvoir l'*entendre*.

Environ une demi-heure après, il s'est produit à une cinquantaine de mètres au Nord un éboulement spontané provoqué par l'ébranlement de la grosse mine. C'est encore

un des avantages de ces mines puissantes d'assurer la sécurité de la carrière en faisant tomber tout ce qui n'est pas très solide.

Voici maintenant, pour finir, comment se décompose le prix de revient de cette grosse mine :

Fonçage de la galerie	3.741f,00
7.000 kilog. de poudre rendus à la poudrière.	15.880,00
Frais de chargement	2.352,00
Gratifications diverses au personnel . .	927,00
Total.	22.900f,00

Si l'on suppose un abattage de 150.000 mètres cubes, on voit que le prix de revient du mètre cube est d'environ 0f,15. Mais il convient de remarquer que la plupart des blocs abattus nécessiteront de nouveaux coups de mine pour être divisés.

Telle est la manière d'exploiter les carrières de Lafarge, et c'est certainement un spectacle curieux et grandiose que celui de ces éboulements de plus de cent mille mètres cubes de rochers.

RAPPORT (*)

SUR

L'EXPLOSION DE LA CHAUDIÈRE D'UNE GRUE LOCOMOBILE A VAPEUR

SUR LE CHEMIN DE FER D'ALLEVARD A CHEYLAS (ISÈRE)

Par M. L. LUUYT, ingénieur en chef des mines.

Le 1er août 1882, à midi et demi, la chaudière d'une grue locomobile de la gare du Cheylas a fait explosion en brûlant légèrement le mécanicien.

M. l'ingénieur des mines Kuss a fourni un rapport dont l'extrait suit :

Le chemin de fer industriel d'Allevard au Cheylas appartient à la Société du Creusot. La grue a été construite dans ce dernier établissement en 1878. Elle est employée au chargement et au déchargement ainsi qu'à la manœuvre de wagons qu'elle peut pousser ou tirer.

La chaudière est verticale, à foyer intérieur et à tubes Field. Elle a 1m,95 de hauteur et 1 mètre de diamètre; le foyer intérieur a 1m,20 de hauteur et une section elliptique, les axes ayant respectivement 0m,80 et 0m,85. Les tubes Field sont au nombre de 64; ils ont 0m,05 de diamètre. La cheminée intérieure centrale a 0m,20 de dia

(*) Ce rapport a été présenté à la Commission centrale des machines à vapeur dans sa séance du 24 avril 1883.

La Commission a adopté l'avis proposé par le rapporteur et a émis le vœu que ce rapport fût inséré dans les *Annales des mines* et dans les *Annales des ponts et chaussées*.

mètre. Elle est assemblée et rivée au ciel du foyer et au fond supérieur de la chaudière au moyen de cornières annulaires. Elle est formée par un tube étiré en cuivre rouge fabriqué par la maison Laveissière. L'épaisseur du métal était, au moment de la construction, de 7 millim. La chaudière a été éprouvée le 31 janvier 1879 pour la pression de 9 kilog.

Le 1er août, le mécanicien venait de recharger son feu et fermait la porte du foyer quand l'explosion s'est produite, le jetant violemment à 10 mètres en dehors de la voie. Relevé aussitôt, il reçut tous les soins nécessaires et il pouvait reprendre son service le 19 août.

Les avaries matérielles sont peu importantes, l'eau et la vapeur étaient sorties par une déchirure du tube-cheminée au-dessus du niveau de l'eau. Cette déchirure avait $0^m,20$ de longueur suivant la génératrice; le métal s'était replié en dedans de part et d'autre. L'épaisseur du tube était réduite à 5 millim. en face de la déchirure; le long de la génératrice passant par le centre de l'ouverture, l'épaisseur diminuait graduellement de bas en haut, étant de $2^{mm},4$ à la déchirure même et de 1 millim. seulement au haut de la cheminée, dans sa partie extérieure à la chaudière, où le métal n'était plus soumis à la pression de vapeur.

L'enquête a établi que l'eau était un peu au-dessus de son niveau habituel, qu'il n'y avait pas excès de pression; l'accident ne peut être dû qu'à l'affaiblissement excessif du tube-cheminée.

L'usure a été produite, non par une action chimique, mais par une action mécanique.

Le tirage de la cheminée entraînant, avec les produits de la combustion, des escarbilles et des cendres légères, le frottement de ces matières a suffi pour user le cuivre.

Lors des nettoyages opérés chaque quinzaine, le mécacien examinait les parties accessibles. L'intérieur de la che-

minée ne l'était malheureusement pas, non seulement parce que ce tube n'avait que 0^{m},20 de diamètre, mais parce qu'il était surmonté d'une cheminée extérieure en tôle, emboîtée sur la partie du tube-cheminée qui faisait saillie au dehors du fond supérieur de la chaudière.

L'espace annulaire compris entre le tube et le corps de la chaudière était trop peu élevé pour permettre à un homme de s'y introduire et de sonder le tube au marteau; on ne soupçonnait pas d'ailleurs l'état d'usure de ce tube. M. Kuss ne croit pas que l'on puisse reprocher au directeur ou au mécanicien de ne s'être pas complètement conformés aux prescriptions de l'article 36 du décret du 30 avril 1880. Ils faisaient tout ce qu'ils pouvaient et il serait à désirer que toutes les petites chaudières verticales analogues fussent entretenues et surveillées avec autant de soin que l'était celle-ci.

Il résulte des renseignements pris au Creusot qu'il y a été construit, de 1870 à 1879, vingt-cinq grues locomobiles du même type. Plusieurs de ces engins fonctionnent au Creusot même, le tube-cheminée n'a été visité dans aucune jusqu'à ce jour, parce qu'il n'est pas accessible sans démontage complet de la chaudière.

Le fer paraissant devoir résister beaucoup mieux que le cuivre à l'usure causée par les escarbilles, la grue du Cheylas a été remise en service après remplacement du tube écrasé en cuivre par un tube en fer.

M. l'ingénieur en chef Villot, en suivant la diminution graduelle des épaisseurs, estime que le cuivre avait 2 millim. au centre de l'écrasement, ce qui correspond à un effort de 4 kilog. par millimètre carré sous la pression de 8 kilog.

Des ouvrages spéciaux donnent pour la charge pratique par compression du cuivre laminé, recuit, 2 kilog. On avait donc beaucoup dépassé la charge de sécurité. En même temps que le métal était comprimé dans sa section

horizontale, il supportait une tension verticale; cet ensemble d'efforts devait avoir pour effet de rendre même suspecte une charge de compression horizontale égale à la charge pratique (2 kilog.) acceptée dans les cas simples où le métal ne travaille que dans un seul sens.

L'amincissement si considérable du cuivre montre combien sont réels et peuvent avoir d'importance les phénomènes d'usure rapide d'une matière relativement dure par une matière relativement tendre quand on fait intervenir comme élément la vitesse de la matière tendre.

M. Villot propose d'adresser une circulaire aux ingénieurs chargés de la surveillance des appareils à vapeur pour leur signaler la cause d'usure ainsi prise sur le fait et les inviter à porter leur attention sur tous les cas où des faits analogues pourraient se présenter, car le Creusot n'a peut-être pas été le seul établissement qui ait construit de pareilles chaudières.

M. l'inspecteur général, directeur du contrôle, adopte l'avis de l'ingénieur en chef et propose d'adresser une circulaire aux ingénieurs pour leur faire connaître les causes de l'explosion de Cheylas et les inviter à signaler sans retard tous les cas semblables qui parviendraient à leur connaisance. Ces rapports seraient transmis à la Commission centrale.

OBSERVATIONS.

Les rapports des ingénieurs indiquent suffisamment la cause de l'accident : usure de la paroi de cuivre par les cendres entraînées avec les gaz chauds. L'échappement de vapeur qui débouche dans la cheminée au-dessus de la chaudière donne lieu à un tirage énergique; s'il n'est pas dirigé exactement suivant l'axe de la cheminée, si le foyer est plus actif d'un côté que de l'autre, les cendres seront plus abondantes ou lancées plus

vite d'un côté que de l'autre; de là l'inégalité d'usure dans la même section de la cheminée. Cette explication paraît préférable à celle qui s'appuie sur le mouvement en avant de la machine, ce mouvement ferait que les poussières attaqueraient plus vivement la paroi antérieure que la paroi opposée; la vitesse d'avancement est bien petite comparée à celle du tirage; quelle qu'elle soit, toute la chaudière et son contenu avançant en même temps, le mouvement transversal du courant par rapport à l'axe de la cheminée est nul.

Il résulte d'une explication fournie à votre rapporteur par le Creusot et le service local, que l'échappement de vapeur pénétrait dans la cheminée à $0^m,20$ au-dessus de la partie supérieure de la chaudière et qu'il y débouchait horizontalement par le côté et sans être recourbé parallèlement à l'axe de la cheminée. La partie usée qui s'est ouverte est à $0^m,30$ au-dessous de cet orifice et dans la partie de la cheminée comprise dans la chaudière et soumise à la pression de la vapeur. Cette partie amincie ne se trouve pas exposée directement au jet de la vapeur, mais, sans avoir de croquis rigoureusement exact de cette disposition, il est permis d'admettre que l'usure, portant entièrement d'un seul côté a été causée par la disposition spéciale de l'échappement. D'ailleurs le Creusot se propose de substituer la tôle de fer à la tôle de cuivre; cette modification aura lieu au fur et à mesure de la mise en réparation des locomobiles de ce type.

On peut se demander aussi si l'épaisseur du tube-cheminée neuf n'était pas inégale, ce qui peut arriver pour des tubes étirés de grand diamètre; en ce cas l'usure aurait pu être uniforme en faisant ressortir d'autant plus les inégalités d'épaisseur.

J'ai l'honneur de proposer à la Commission centrale d'émettre l'avis suivant :

L'écrasement d'une cheminée intérieure de locomobile dans la gare du Cheylas provient de l'usure rapide d'un seul côté de cette cheminée, qui était en cuivre rouge. Elle avait un diamètre de $0^m,20$ et une épaisseur de $0^m,007$; cette épaisseur s'est réduite à 5 millim. en face de la déchirure et à $2^{mm},4$ à la déchirure même produite par la pression de la vapeur. Plus haut, mais en dehors de la chaudière, dans la partie non soumise à la pression, l'épaisseur est descendue à 1 millim. Le tuyau d'échappement de vapeur débouche à peu près à cette dernière hauteur, donnant un jet horizontal. L'usure, qui est intérieure, a été produite par le frottement des cendres, et l'inégalité ne paraît provenir que de la disposition spéciale du jet, peut-être aussi le tube en cuivre étiré n'avait-il pas à l'origine une épaisseur uniforme. La chaudière, construite au Creusot, avait été éprouvée en janvier 1879 pour la pression de 9 kilog. Elle était très bien entretenue, cependant on n'avait pas remarqué l'usure, la partie détériorée n'étant pas accessible. Les constructeurs remplacent la cheminée en cuivre par une cheminée en fer et ils examinent de près les machines qu'ils ont construites dans des conditions analogues.

RAPPORT

PRÉSENTÉ AU COMITÉ DE L'EXPLOITATION TECHNIQUE DES CHEMINS DE FER AU NOM DE LA SOUS-COMMISSION (*) DU MATÉRIEL

DES CHEMINS DE FER DE LA CORSE

Par MM. SARTIAUX, ingénieur des ponts et chaussées, sous-chef de l'exploitation du chemin de fer du Nord,

et BANDERALI, ingénieur chargé du service central du matériel et de la traction du chemin de fer du Nord.

Avant de procéder à l'examen des propositions de M. l'ingénieur en chef du département de la Corse et de donner son avis sur les dispositions à arrêter tant pour la voie et le matériel fixe que pour le matériel roulant, la Commission a pensé qu'il était utile de visiter un chemin à voie étroite en exploitation et de recueillir les avis des exploitants sur les résultats obtenus.

En conséquence, la Commission a visité le chemin de fer de Hermes à Beaumont (**), d'une longueur de 32 kilom.

(*) Cette sous-commission était composée de MM. Marié, ingénieur en chef du matériel et de la traction de la Compagnie P.-L.-M., *président* (remplacé plus tard par M. Sévéne, ingénieur en chef des ponts et chaussées, directeur de la Compagnie d'Orléans); Jules Martin, ingénieur en chef des ponts et chaussées, adjoint à la direction des chemins de fer de l'Etat; Ledoux, ingénieur en chef des mines; Sartiaux, *rapporteur* de la 1re, de la 2e, de la 4e et de la 5e parties; Banderali, *rapporteur* de la 3e et de la 5e parties.

(**) Ce chemin relie les lignes de Creil à Beauvais et de Paris à Pontoise.

environ, établi, au moins pour une partie de sa longueur, dans un pays très difficile, connu sous le nom de la *Grande Falaise du pays de Bray*.

L'exemple de ce chemin a paru d'autant plus intéressant à la Commission qu'il a été établi, avec le concours financier de la compagnie du Nord, que cette compagnie avait délégué un de ses ingénieurs comme administrateur de la petite compagnie, et que toutes les études de voie, d'appareils de voie, de machines et voitures ont été faites avec le concours direct et permanent d'ingénieurs de la compagnie du Nord.

La Commission a pensé qu'il serait utile de joindre à ce rapport tous les dessins qui pourront avoir quelque intérêt pour les constructeurs des chemins de la Corse.

La Commission a procédé ensuite à l'examen détaillé des propositions de M. l'ingénieur en chef de la Corse.

PREMIÈRE PARTIE.

TYPE DU RAIL VIGNOLE A ADOPTER POUR LES CHEMINS DE FER DE LA CORSE.

Largeur de la voie. — La décision du 3 mai 1877 avait fixé la largeur de la voie à 1 mètre.

Il doit être bien entendu que la largeur de la voie est de 1 mètre *entre les bords intérieurs* des rails. Le gabarit entre les bords intérieurs est le seul qui soit intéressant, et qui, au point de vue de la circulation des véhicules, doive avoir une cote invariable.

Poids des rails. — La même décision fixe à 20 kilog. environ le poids par mètre courant des rails prévus en acier.

Ce poids est bien celui qui convient à des chemins à voie étroite et qui donne aux rails une masse suffisante pour assurer la stabilité de la voie et la conservation des tra-

[redacted]

verses. Nous reviendrons plus loin sur la forme et les dimensions qui paraissent devoir être adoptées.

Maximum de déclivité. — La décision ministérielle précitée porte que les déclivités maxima pourront être portées à 20 millim. sur la ligne principale d'Ajaccio à Bastia et à 25 millim. sur les lignes d'Ajaccio à Propriano, de Ponte-Leccia à Calvi et de Casamozza à Bonifacio.

La Commission estime que ces pentes peuvent être atteintes sans inconvénient sérieux. Quand il s'agit de lignes dont la recette probable ne dépasse pas 6 à 8.000 francs par kilom. et dont, par suite, le mouvement, par jour, ne dépasse pas 100 à 150 tonnes, les trains de voyageurs qui sont au nombre minimum de trois par jour dans chaque sens, soit six dans les deux sens, n'ont pas à enlever plus de 20 à 30 tonnes. Comme il est facile de construire des machines qui puissent remorquer 100 tonnes brutes ou 75 tonnes utiles sur 20 ou 25 millim. de pente, le trafic pourra toujours être enlevé par les trains existant forcément en raison du service des voyageurs.

En conséquence, la Commission, tout en désirant que les déclivités soient aussi faibles que possible, ne voit pas d'inconvénient sérieux à atteindre les maxima précités. Toutefois, elle croit devoir faire remarquer qu'il doit être entendu qu'il s'agit des *déclivités nettes* maxima, c'est-à-dire en ligne droite ou en courbes équivalentes.

L'expérience du chemin de fer de Hermes à Beaumont a donné les résultats pratiques suivants. Avec un matériel roulant dont les essieux sont écartés de $2^m,20$ à $3^m,00$, la courbe de 400 mètres de rayon sur un chemin à voie à 1 mètre équivaut à peu près à la courbe de 600 mètres de rayon dans le chemin à voie normale; la courbe de 300 mètres équivaut à peu près à celle de 500 mètres; la courbe de 200 mètres équivaut à peu près à celle de 400 mètres, et celle de 100 mètres à celle de 300 mètres.

Il en résulte que pour les chemins à voie de 1 mètre munis du matériel rigide ordinaire, les courbes de 100, 200, 300 et 400 mètres peuvent être considérées comme équivalentes à des déclivités fictives de 4, 3, 2 et 1 millim., et que par suite les déclivités maxima doivent être diminuées d'autant, lorsqu'elles coïncideront avec les courbes indiquées ci-dessus.

On peut admettre que les courbes qui ont 500 mètres de rayon n'ont plus d'influence sérieuse au point de vue de la résistance et équivalent à un alignement droit.

Rayons des courbes. — L'expérience des chemins de fer à voie étroite, en général, a démontré que l'on pouvait descendre jusqu'à 100 mètres et même jusqu'à 75 et 60 mètres le rayon des courbes; mais elle a démontré aussi que, au point de vue de la vitesse à donner aux trains, au point de vue de la résistance de la traction, et enfin au point de vue de l'entretien de la voie et du matériel roulant, il y avait un intérêt considérable à n'accepter ces minima que dans le cas où il est absolument impossible ou extrêmement coûteux de faire autrement.

Il est très important d'augmenter le rayon des courbes aux dépens même de la déclivité, et il est bien préférable de substituer une rampe de 20 millim. en ligne droite ou en courbe de 500 mètres, à une rampe de 16 millim. en courbe de 100 mètres qui, au point de vue théorique, est à peu près équivalente.

La Commission recommande donc tout particulièrement de faire les efforts les plus sérieux pour n'accepter qu'exceptionnellement les courbes de 100 mètres, elle croit désirable qu'en voie courante, le rayon minimum varie entre 150 et mieux entre 200 et 300 mètres, et enfin elle insiste sur la nécessité de préférer, de deux déclivités en courbe fictivement équivalentes, celle qui a le plus grand rayon et la plus forte déclivité.

Jeu de la voie. — Cette question sera examinée dans la partie du rapport plus spécialement relative à la constitution du matériel roulant.

Surécartement de la voie dans les courbes. — Afin de faciliter le passage dans les courbes, on élargit la voie de 1 à 2 centimètres dans les chemins à voie normale. Il est extrêmement difficile, pour ne pas dire impossible, de déterminer mathématiquement la valeur de ce surécartement et l'expérience semble être la meilleure des règles.

Sur le chemin de Hermes à Beaumont, la largeur de 1 mètre laisse, eu égard aux dimensions des bourrelets et aux cotes de calage admises pour le matériel roulant, machines et wagons, un jeu latéral qui, grâce à la conicité, permet à deux roues neuves, ayant $0^m,70$ de diamètre et montées sur un même essieu, de parcourir sans glissement les deux files de rails d'une voie courbe ayant 500 mètres de rayon. Lorsque les courbes ont un rayon égal ou inférieur à 450 mètres, le jeu normal de la voie n'est plus suffisant à cause de l'obliquité des roues et du diamètre plus grand de certaines roues qui tendent à faire porter les boudins contre les champignons des rails. Après une série de tâtonnements, on a adopté les chiffres suivant :

	LARGEUR de la voie.
Courbes de 100 à 150 mètres de rayon . .	1,02 faible.
— de 150 à 300 — . .	1,015
— de 300 à 450 — . .	1,01
— de 500 et au delà — . .	1,00 largeur normale.

Toutefois, la largeur de 1 mètre a été maintenue dans les courbes qui existent entre les changements et les croisements. Avec les dimensions qui seront proposées pour la largeur d'écartement des bandages du matériel roulant, ces surécartements ne présentent aucun danger.

Dans ces conditions, la Commission croit devoir recom-

mander d'adopter ces données pour les chemins de fer de la Corse.

Surhaussement de la voie. — Tous les ingénieurs n'admettent pas la même formule pour déterminer, même avec la voie normale, la valeur à donner au surhaussement du rail extérieur dans les courbes. Ainsi que le fait remarquer M. l'ingénieur en chef de la Corse, les formules employées correspondant à une vitesse maxima de 40 kilomètres à l'heure, donnent comme résultats extrêmes

$$\frac{26,67}{R} \quad \text{et} \quad \frac{12,58}{R}.$$

M. l'ingénieur en chef de la Corse propose de s'en tenir aux résultats de la formule moyenne $\frac{15}{R}$:

	SURHAUSSEMENT.
Rayon de 100 mètres	0,15
— de 150 —	0,10
— de 200 —	0,075
— de 250 —	0.06
— de 300 —	0,05

Ces résultats concordent assez sensiblement avec ceux qu'après les tâtonnements successifs l'expérience a conduit à adopter sur le chemin de Hermes à Beaumont et qui sont les suivants :

	SURHAUSSEMENT.
Rayon de 100 mètres	0,12
— de 150 —	0,10
— de 200 —	0,08
— de 250 —	0,07
— de 300 —	0,06
— de 400 —	0,03
— de 800 —	0,02
— de 1.500 —	0,01

La Commission propose donc d'adopter les chiffres indiqués par M. l'ingénieur en chef de la Corse.

Rampes et pentes préparant le surhaussement et courbes de raccordement. — M. l'ingénieur en chef de la Corse a seulement indiqué que des propositions spéciales avaient été adressées à l'administration. La Commission a pensé qu'il convenait de formuler quelques règles à cet égard.

Autant que possible, on obtient le surhaussement, sans modifier le profil en long de l'axe de la voie, par une dénivellation relative des deux files de rails, en abaissant l'une et en élevant l'autre d'une quantité égale à la moitié du surhaussement total. La transition doit être ménagée aux deux extrémités de la courbe par des rampes ou par des pentes amenant ou effaçant graduellement la dénivellation. Le surhaussement doit être réparti par moitié sur la courbe et la tangente ; il devra être obtenu par des pentes et rampes relatives inférieures à $0^m,004$ par mètre, établies sur chacune des deux files de rails. Il est très important que les parties droites et courbes sur lesquelles se forme ou s'efface le surhaussement soient, dans la mesure du possible, remplacées par une portion de parabole.

Dimensions du rail. — Le rail proposé par M. l'ingénieur en chef de la Corse est un rail à patins, en acier, ayant les dimensions générales suivantes :

Hauteur.	$0^m,098$
Largeur du patin	0 ,075
Largeur du champignon.	0 ,048
Epaisseur de l'âme	0 ,011
Angle d'épaulement	100°
Surface de la section.	$2.621^{mm^2},31$
Poids par mètre courant	$20^k,446$

Tout d'abord quelques membres de la Commission ont manifesté le regret que le rail à patins eût été préféré au

rail avec coussinets. Ils ont émis la pensée qu'en raison de la raideur des courbes admises dans le tracé des chemins de la Corse, il eût été intéressant de choisir la voie à coussinets qui présente une plus grande stabilité et préserve mieux les traverses.

Un des membres a particulièrement traité cette question et a résumé son opinion dans une note (annexe F), que la Commission croit devoir joindre au présent rapport.

Dans l'état de la question, la majorité de la Commission n'a pas pensé qu'il lui appartînt de modifier le programme dans une partie aussi essentielle.

La question de la supériorité de l'une des voies sur l'autre est trop discutée pour qu'il lui ait paru possible de la trancher pour les chemins de la Corse. Si un grand nombre d'ingénieurs préfèrent la voie à coussinets, beaucoup d'autres donnent la préférence au rail à patins. Comme, d'un autre côté, la voie à patins est considérée comme la voie des chemins secondaires par un grand nombre d'ingénieurs qui, dans le cas d'un gros trafic choisiraient la voie à coussinets, la majorité de la Commission a cru devoir s'en tenir au type décidé du rail à patins.

En ce qui concerne le profil du rail, la Commission a pensé que le profil étudié par M. l'ingénieur en chef de la Corse pourrait être avantageusement modifié dans quelques détails.

Si ce rail a une résistance verticale suffisante, il a une résistance horizontale un peu faible. Le rapport entre sa hauteur et sa base est 1,3066.

Le même rapport pour le rail du Nord, dont le patin est réputé trop étroit, est de 1,289. Il conviendrait que ce rapport ne dépassât pas 1,15 à 1,20.

L'inclinaison de la surface de contact des éclisses est un peu grande; avec une inclinaison un peu plus faible, on peut augmenter la largeur du patin et améliorer l'attache de l'éclisse.

Le congé rentrant du champignon présenterait des difficultés de laminage et ne paraît pas indispensable.

Enfin l'âme du rail est un peu forte et pourrait facilement être réduite de manière à reporter la matière sur le patin.

Guidée par ces considérations et mettant à profit l'expérience acquise tant sur les grandes lignes que sur la ligne de Hermes à Beaumont, la Commission a étudié un type qu'elle croit devoir recommander pour les lignes de la Corse. Les conditions d'établissement de ce type, dont la section est indiquée dans la *fig.* 1 de la Pl. VI, sont résumées dans le tableau ci-dessous, qui les compare à celles du type étudié par M. l'ingénieur en chef de la Corse.

Comparaison entre les conditions d'établissement du rail proposé par M. l'ingénieur en chef et celles du rail recommandé par la Commission.

	RAIL proposé par M. l'ingénieur en chef.	RAIL recommandé par la Commission.
Hauteur totale	0,098	0,098
Largeur du patin	0,075	0,084
Largeur du champignon	0,048	0,046
Epaisseur de l'âme	0,011	0,010
Angle d'épaulement	100°	116°32' 20'' (tg 1/2)
Section du rail	0.002 621	0,002 632
Poids du rail	20kg,446	20kg,575
Rapport de la hauteur totale à la largeur du patin	1,3066	1,1066
Hauteur du centre de gravité au-dessus du plan de la base du patin	0,0539	0,049
Moment d'inertie	0,000003396170	0,000004350374
Effort maximum de compression [rail supposé neuf (*) par millimètre carré de section].		
L'espacement des traverses étant de 0,65.	6kg,137	4kg,347
— — de 0,70.	6 ,579	4 ,682
— — de 0.75.	7 ,048	5 ,016
— — de 0,80	7 ,518	5 ,350
— — de 0,85.	7 ,989	5 ,685
— — de 0,90.	8 ,458	6 ,019
— — de 0,95.	8 ,928	6 ,354
— — de 1,00.	9 ,399	6 ,688

(*) Le rail n'aura pas à supporter plus de 50 000 tonnes par an; et pour être usé de 1 millim., il faudrait le passage de 15 à 20 millions de tonnes

La *fig.* 1 de la Pl. VI donne les détails des calculs résumés dans le précédent tableau.

Longueur des rails (*). — M. l'ingénieur en chef de la Corse a admis que la longueur des rails serait de 6 mètres. L'expérience du chemin de fer de Hermes à Beaumont a démontré qu'il n'y avait que des avantages à porter à 8 mètres la longueur normale des rails. On doit, d'ailleurs, admettre dans les commandes, pour faciliter la fabrication, des longueurs réduites de 7 mètres, 6 mètres, 5 mètres et 4 mètres. On doit, en outre, exiger des fabricants un certain nombre de barres ayant 7^m,94 et 7^m,90 pour les poser en courbe. L'annexe B ci-jointe indique en détail l'emploi de ces rails et la répartition des diverses longueurs de rails dans les courbes.

Plan de pose des rails. — Le profil du rail étant modifié, la disposition ou plutôt l'écartement des traverses, proposé par M. l'ingénieur en chef de la Corse, est nécessairement modifié. Comme dans son projet, les joints de la voie sont posés en porte à faux, les traverses entre lesquelles se trouve le joint sont écartées de 50 à 55 centimètres d'axe en axe.

Les croquis, Pl. VI, *fig.* 17, 18, 16 et 15, indiquent la pose pour des rails de 8 mètres, de 7 mètres, de 6 mètres et de 5 mètres en voie droite, les rails de 4 mètres étant réservés pour les abords des appareils de voie et les extrémités des courbes à joints alternés.

Plaques d'arrêt. — M. l'ingénieur en chef de la Corse n'a point examiné la question des moyens à employer pour empêcher les rails de glisser sur les traverses dans le sens de la marche des trains. La Commission a discuté longue-

(*) Voir la note du tableau, p. 326.

ment le plus ou moins d'utilité de la mesure et d'efficacité des moyens employés à cet effet. Elle est restée divisée sur le principe même et n'a pas pensé qu'il convînt de recommander plus spécialement tel ou tel procédé. Toutefois, elle a jugé utile de décrire l'essai tenté au chemin de Hermes à Beaumont et dont les résultats paraissent satisfaisants.

Les *fig.* 10, 11, 12, 13 et 14, Pl. VI, et l'annexe C donnent la description du procédé mis en usage.

Éclisses et boulons. — Trous des rails. — La modification proposée par la Commission dans la forme du rail, a nécessité la modification des éclisses. Les éclisses sont de deux espèces : l'une, sans cordon saillant, placée à l'intérieur de la voie et servant d'appui aux écrous ; l'autre, avec deux cordons saillants (Pl. VI, *fig.* 2), placée à l'extérieur de la voie ; les cordons ont pour objet de maintenir les têtes de boulons de manière à les empêcher de tourner quand on serre les écrous. Quant aux boulons et trous des rails, les dimensions prévues par M. l'ingénieur en chef de la Corse paraissent satisfaisantes.

Crampons et bagues. — M. l'ingénieur en chef de la Corse propose de fixer les rails sur les traverses à l'aide de crampons encastrés dans des bagues en fonte du système Desbrière.

L'expérience générale a condamné ce système, abandonné aujourd'hui par les compagnies qui l'avaient adopté ou essayé. La Commission propose donc de ne pas l'adopter. Elle recommande l'emploi des *tire-fonds en fer galvanisé* (Pl. VI, *fig.* 9) et placés avec les précautions suivantes (Pl. VI, *fig.* 10 et 11) :

Les deux trous de tire-fonds opposés ne doivent pas attaquer les mêmes fibres d'une traverse. Dans le sens perpendiculaire à la voie, la distance d'axe en axe des tire-fonds est de $0^m,102$; leur diamètre étant de $0^m,016$ et le

patin du rail étant de $0^m,084$, il reste, entre les tire-fonds et les bords du patin, un jeu de $0^m,001$ de chaque côté pour parer aux irrégularités de la fabrication.

Traverses. — La Commission partage entièrement l'avis de M. l'ingénieur en chef de la Corse sur l'utilité de choisir, à défaut de meilleure essence, le *hêtre* comme essence propre à faire les traverses des chemins de fer corses. Mais au lieu de l'injection au sulfate de cuivre à laquelle toutes les compagnies renoncent successivement, elle recommande le créosotage consistant à soumettre les traverses préalablement desséchées à un double traitement.

1° Introduction des traverses dans un cylindre en tôle où circule un courant de vapeur d'eau mélangée de vapeur d'huile créosotée, sous l'influence d'une élévation progressive de la pression;

2° Absorption par la traverse, dans le même cylindre, d'une quantité déterminée (10 kilog.) de créosote liquide à la température de 60 degrés.

Dimensions des traverses. — M. l'ingénieur en chef de la Corse a admis les dimensions de $1^m,60$, $0^m,20$, $0^m,12$. La Commission s'associe complètement aux observations de M. l'ingénieur en chef en ce qui concerne les dimensions transversales des traverses. Au point de vue de la longueur, elle a pensé, au contraire, qu'en raison surtout de la raideur des courbes admises dans le tracé, et, dans le but d'obtenir une plus grande stabilité, il convenait de porter à $1^m,75$ et même à $1^m,80$ la longueur des traverses. Les calculs de l'annexe D font ressortir les excellentes conditions de résistance des traverses avec ces dimensions.

Pose du rail. — Dans le but de diminuer le glissement longitudinal dû à la différence de longueur des rails dans les courbes, M. l'ingénieur en chef de la Corse propose de

poser les rails en les inclinant de 1/10 sur la verticale, vers le milieu de la voie.

Les considérations qui ont conduit à ce résultat M. l'ingénieur en chef sont indiscutables au point de vue de la théorie du roulement.

Il est certain qu'à l'aide d'un jeu de la voie convenable et d'une conicité suffisamment forte, et en supposant que les surfaces en contact, rails et roues, conservent toujours leur forme primitive, on peut arriver à détruire complètement le glissement longitudinal et, comme conséquence, à réduire l'usure excessive des bandages. Mais la Commission croit devoir faire à cette disposition quelques objections. En premier lieu, il convient de remarquer qu'au bout de peu temps l'usure modifie le matériel et la voie elle-même. Le matériel, c'est-à-dire les bandages s'usent en gorge et non en ligne droite et, par suite, les résultats sur lesquels on comptait ne se produisent plus.

En second lieu, il est difficile de maintenir une pareille conicité et, dans la pratique, le but cherché s'obtient par l'augmentation du jeu de la voie résultant de l'usure du matériel. Il est plus simple de se placer immédiatement dans les conditions que la pratique impose au bout de peu de temps.

Si l'on appelle

R le rayon de l'axe de la voie;
D la largeur de la voie;
r le rayon moyen de la roue;
α l'inclinaison du bandage;
E le jeu de la voie;

le rayon de la courbe extérieure est $R+\frac{D}{2}$; le rayon de la courbe intérieure est $R-\frac{D}{2}$.

Les deux rayons de la roue en contact sur les deux rails sont $r+\alpha E$, $r-\alpha E$.

Pour annuler le glissement longitudinal, il faut que

$$\frac{R+\frac{D}{2}}{R-\frac{D}{2}}=\frac{r+\alpha E}{r-\alpha E},$$

c'est-à-dire que

$$\alpha E=\frac{Dr}{2R}.$$

En admettant une courbe de 100 mètres de rayon, c'est-à-dire $R = 100$, en supposant des roues de wagon de 0,35 de rayon moyen, c'est-à-dire $r = 0,35$, comme $D = 1,020$, la formule ci-dessus donne $\alpha E = 0,001780$.

Au lieu d'adopter une conicité de 1/10 difficile à maintenir, qui entraîne dans la marche des véhicules des oscillations qu'augmente encore le jeu des ressorts, il est plus simple de ne pas trop s'écarter de la conicité généralement admise de 1/20, qui fait ressortir pour 2E, c'est-à-dire pour le jeu total de la voie, une valeur de 0,0712 qui n'est pas inconciliable avec les possibilités de la pratique en admettant un surécartement de 2 centimètres dans les courbes de 100 mètres. Cela paraît d'autant meilleur que l'adoption d'une forte conicité rend très difficile la construction des appareils de la voie et enfin qu'elle place le rail dans de mauvaises conditions de résistance verticale au point de vue de la flexion ainsi que le font voir plus en détail les croquis des *fig.* 3 et 4, Pl. VI, et les calculs de l'annexe E ci-jointe.

En résumé, la Commission, convaincue de la quasi-impossibilité de maintenir une conicité aussi forte que la conicité de 1/10, de son inutilité résultant très vite de l'usure et surtout du profil d'usure des bandages, de la difficulté qu'elle impose dans la construction des appareils, des mauvaises conditions de résistance où elle place le rail et enfin de la possibilité que le jeu de la voie, combiné avec une conicité raisonnable, donne pour obtenir le but recherché,

la Commission estime qu'il convient de ne pas trop s'écarter de la conicité de 1/20 généralement adoptée en France tout en admettant, si les conditions d'établissement du matériel le demandent, qu'on la porte jusqu'au chiffre de 1/17 qui paraît avoir donné en Allemagne des résultats satisfaisants.

Changements de voie. — Les dispositions et dimensions générales proposées par M. l'ingénieur en chef de la Corse ont paru satisfaisantes à la Commission. Toutefois, elle fait, au point de vue de la solidarité des diverses pièces de l'appareil et de la facilité de l'entretien, quelques objections à l'emploi des traverses entrecroisées et recommande, de préférence, l'emploi de traverses uniques reliant entre eux les quatre cours de rails.

Les dispositions du chemin de Hermes à Beaumont lui paraissent préférables à tous égards.

Paris, le 2 janvier 1881.

Le Rapporteur,
A. Sartiaux.

Vu et approuvé par la Commission en séance du 3 janvier,
Le Président : MARIÉ.

ANNEXE A.

CONDITIONS DE RÉSISTANCE DU TYPE DE RAIL ET D'ÉCLISSE RECOMMANDÉ PAR LA COMMISSION.

Profil du rail. — Le rail, dont le croquis se trouve sur la Pl. VI (*fig.* 1), rappelle beaucoup les dispositions adoptées pour le rail en fer du chemin de fer à voie étroite d'Hermes à Beaumont.

Le rail recommandé est en acier, du type Vignole.

Sa hauteur est de.	0m,098
La largeur du patin de	0 ,084
La largeur du champignon de.	0 ,046
L'épaisseur de l'âme de.	0 ,010

Le rapport de la hauteur totale à la hauteur du patin est de $\frac{0,098}{0,084} = 1,1666.$

Sa section est de $0^{m2},002632$.

Son poids (la densité de l'acier étant de 7,82) sera par mètre courant de $20^{k},575$.

Résistance du rail. — On sait que pour un rail de profil déterminé la fatigue du métal croît avec l'espacement des traverses ; il faut donc examiner quel sera le maximum de fatigue correspondant à divers écartements entre les traverses.

1° *Résistance du rail dans les traverses intermédiaires.* — Dans ce cas, le rail peut être considéré comme un solide reposant sur deux appuis de niveau et encastré à ses extrémités. Le centre de gravité étant au milieu de la hauteur, la compression maxima sur le champignon égalera la tension maxima sur le patin ; elle aura lieu au droit des appuis lorsque la charge sera au tiers de la longueur.

Soient :

- R la résistance du rail par millimètre carré en kilogrammes ;
- P la charge maximum en une section déterminée ;
- a l'espacement entre axe des traverses ;
- I le moment d'inertie du rail par rapport à son centre de gravité ;
- V la distance entre les fibres extrêmes et la fibre moyenne.

La résistance R est donnée par l'expression générale

$$R = \mu \frac{V}{I} \qquad \mu = \text{moment fléchissant.}$$

Or, dans le cas actuel, $\mu = \frac{4}{27} Pa$, donc $R = \frac{4}{27} P \times \frac{V}{I} \times a$.

Nous admettrons que les machines les plus lourdes devant circuler sur le rail étudié pèseront 24 tonnes et que la charge maxima sur l'essieu le plus chargé sera de 8 tonnes ou 4.000 kilog. par roue.

L'écartement entre les essieux étant un peu supérieur à 1 mètre, nous n'aurons donc, si nous ne dépassons pas 1 mètre, comme valeur de a, qu'un seul poids exerçant son action entre deux appuis consécutifs.

La section adoptée pour le rail donne, pour les valeurs de V et de I :

$$I = 0{,}000004350375,$$
$$V = 0{,}049,$$
d'où
$$\frac{V}{I} = 11.286,$$
$$R = 6668000\,a.$$

Cherchons maintenant la fatigue du métal pour des portées variant entre 1 mètre et $0^m,60$, nous aurons :

VALEUR de *a*.		VALEUR de R par millimètre carré de section.
$a = 1^m,00$	....	$6^{kg},688$
$a = 0\ ,95$	....	6 ,354
$a = 0\ ,90$	....	6 ,01
$a = 0\ ,85$	....	5 ,685
$a = 0\ ,80$	....	5 ,350
$a = 0\ ,75$	....	5 ,016
$a = 0\ ,70$	....	4 ,682
$a = 0\ ,65$	....	4 ,347
$a = 0\ ,60$	....	4 ,012
$a = 0\ ,55$	....	3 ,678
$a = 0\ ,50$	....	3 ,344

2° *Résistance du rail dans les portées de joint.* — Si nous supposons le joint en porte-à-faux et placé au milieu de l'intervalle qui sépare deux traverses, chaque about du rail peut être considéré comme un solide encastré à une de ses extrémités.

Le moment de flexion sera maximum à l'aplomb de chaque traverse; il aura lieu quand la charge s'appliquera au-dessus du joint.

Dans ce cas,

$$\mu = \frac{P}{4}a \quad \text{et } R = \frac{P}{4} \times \frac{V}{I} \times a = 1.000 \times 11286 \times a.$$

Cherchons la fatigue du métal pour des portées variant entre $0^m,40$ et $0^m,76$, nous aurons :

VALEUR de *a*.		VALEUR de R par millimètre carré de section.
$0^m,75$	....	$8^{kg},464$
0 ,70	....	7 ,900
0 ,65	....	7 ,325
0 ,60	....	6 ,761
0 ,55	....	6 ,207
0 ,50	....	5 ,643
0 ,45	....	5 ,078
0 ,40	....	4 ,514

Si nous prenons $6^k,500$ comme maximum de la résistance du rail par millimètre carré de section, on voit que l'espacement des traverses intermédiaires peut être porté à $0^m,95$ et que l'espacement des traverses pour les portées de joint ne doit pas atteindre $0^m,60$.

Éclisses. — *Résistance des éclisses.* — Dans le calcul de la résistance du rail sur les appuis de joint en porte-à-faux, nous avons admis que, par l'intermédiaire des éclisses, une charge placée au milieu de la portée se répartissait par moitié sur chaque about du rail. En effet, si la charge exerce son action très près d'un about, les éclisses reporteront la moitié de la charge sur l'about opposé qu'elles rendent solidaire du premier. Dans ce cas, les éclisses résistent à un effort tranchant ayant pour valeur la moitié de la charge P, soit : $\frac{4.000}{2} = 2.000$ kilog.

La section d'une éclisse est de : $0^{m2},00084156$, soit pour deux semblables : $2\,S = 0,00168312$.

La résistance au cisaillement dans le cas de la plus grande fatigue et par millimètre carré de section est de : $R = \frac{2.000}{1.683^{mm}} = 1^k,188$ par millimètre carré.

Travail du fer dans les éclisses (Pl. VI, *fig.* 22). — Le milieu de l'éclisse occupant le milieu de la travée, l'effort y est maximum lorsque la charge P est appliquée à ce point.

Soient π la résultante des pressions verticales appliquées de chaque côté par le rail sur chacune des deux portées supérieure et inférieure de l'éclisse supposée horizontale, d la distance des points d'application des forces π et $-\pi$, I le moment d'inertie total, ρ leur rayon de courbure en M.

La travée a étant supposée encastrée horizontalement aux deux bouts, ses points d'inflexion sont au $1/4$ et aux $3/4$ de sa longueur, il n'y a donc qu'un effort tranchant $\frac{P}{2}$ et l'on a

$$\frac{EI}{\rho} = \frac{Pa}{8}, \quad \text{d'où } \pi = \frac{Pa}{16d}.$$

En admettant la proportionnalité des impressions aux efforts, la somme des réactions sera mesurée, pour chaque portée, par une aire d'impression triangulaire, et les résultantes passeront donc au

1/3 et aux 2/3 de la demi-longueur de l'éclisse à partir du milieu, d'où

$$d = 1/3\, l \quad \text{et}\ \pi = 3/16\ \frac{Pa}{l}.$$

En faisant $l = 0,180$ et $a = 0,55$, on a

$$\pi = 0,57\, P,$$

et pour P = 4.000 kilog.

$$\pi = 2.280 \text{ kilog.},$$

soit $2^k,708$ par millimètre carré de section.

ANNEXE B.

EMPLOI DES RAILS DE $7^m,94$ ET DE $7^m,90$ DANS LA VOIE EN COURBE.

Dans les courbes, les développements des deux files de rails n'étant plus égaux et la file extérieure étant naturellement formée de rails de 8 mètres, on est obligé de composer la file intérieure avec des rails plus courts. La nécessité de ne pas multiplier outre mesure les types de longueurs réduites conduit à n'employer dans cette opération que des rails de $7^m,94$ et $7^m,90$. Les rails courts sont groupés avec les rails de 8 mètres dans des combinaisons périodiques, assujetties à cette condition qu'à la fin de chaque période les joints correspondants des deux files de rails se retrouvent, à moins de 5 millim., dans les positions relatives qu'ils devraient occuper en voie droite.

Ces combinaisons périodiques sont représentées sur le tableau ci-après.

Répartition des rails de longueur normale et de longueur réduite dans les courbes.

RAYONS des courbes.	NOMBRE de rails de 8 mètres.		NOMBRE de rails courts à l'intérieur.		RÉPARTITION PRATIQUE des rails courts dans les courbes.
	à l'extérieur.	à l'intérieur.	Rails de $7^m,94$.	Rails de $7^m,90$.	
100	5	»	2	3	$\underline{1}$[1] 2[2] $\underline{1}$ 4 $\underline{1}$
110	5	»	3	2	1 $\underline{1}$ 3 $\underline{1}$ 5
120	4	»	3	1	1 2 $\underline{1}$ 4
130	8	»	7	1	1 2 3 $\underline{1}$ 5 6 7 8
140	1	0	1	»	1 2 3 4 etc...
150	16	1	15	»	1 2 ... 7 $\underline{\underline{1}}$[3] 9 10 . . . 16
200	10	3	7	»	$\underline{\underline{1}}$ 2 3 $\underline{\underline{1}}$ 5 6 7 $\underline{\underline{1}}$ 9 10
250	7	3	4	»	1 $\underline{\underline{1}}$ 3 $\underline{\underline{1}}$ 5 $\underline{\underline{1}}$ 7
300	15	8	7	»	$\underline{\underline{1}}$ 2 $\underline{\underline{1}}$ 4 $\underline{\underline{1}}$ 6 $\underline{\underline{1}}$ 8 $\underline{\underline{1}}$ 10 $\underline{\underline{1}}$ 12 $\underline{\underline{1}}$ 14 $\underline{\underline{5}}$
350	5	3	2	»	$\underline{\underline{1}}$ 2 $\underline{\underline{1}}$ 4 $\underline{\underline{1}}$
400	3	2	1	»	$\underline{\underline{1}}$ 2 $\underline{\underline{1}}$
450	13	9	4	»	$\underline{\underline{1}}$ 2 $\underline{\underline{2}}$ 5 $\underline{\underline{2}}$ 8 $\underline{\underline{2}}$ 11 $\underline{\underline{2}}$
500	7	5	2	»	$\underline{\underline{2}}$ 3 $\underline{\underline{1}}$ 5 $\underline{\underline{2}}$
600	13	10	3	»	$\underline{\underline{3}}$ 4 $\underline{\underline{4}}$ 9 $\underline{\underline{3}}$ 13
700	5	4	1	»	$\underline{\underline{2}}$ 3 $\underline{\underline{2}}$
800	6	5	1	»	$\underline{\underline{3}}$ 4 $\underline{\underline{2}}$
900	13	11	2	»	$\underline{\underline{3}}$ 4 $\underline{\underline{5}}$ 10 $\underline{\underline{3}}$
1 000	7	6	1	»	$\underline{\underline{3}}$ 4 $\underline{\underline{3}}$
1.500	11	10	1	»	$\underline{\underline{5}}$ 6 $\underline{\underline{5}}$
2.000	14	13	1	»	$\underline{\underline{6}}$ 7 $\underline{\underline{7}}$

[1] Les nombres accompagnés du signe — indiquent le nombre de rails de $7^m,90$ entre ceux de $7^m,94$.
[2] — en gros caractères indiquent le rang des rails de $7^m.94$.
[3] — accompagnés du signe — indiquent le nombre de rails de $8^m,00$ entre ceux de $7^m,94$.

Lorsque par exception on pose des voies en courbe de 200 mètres et au-dessous, on assure la régularité de la courbure en croisant les joints des deux files de rails, de telle sorte que le joint

d'une des files corresponde au milieu du rail de la file voisine. On modifie alors les portées comme l'indique le croquis *fig.* 19, Pl. VI; les rails de 4 mètres sont employés aux extrémités de ces courbes pour raccorder la voie à joints alternés avec la voie à joints corres-dants.

Les rails sont infléchis transversalement et suivent la courbure générale de la voie.

ANNEXE C.

PLAQUES D'ARRÊT.

Les plaques indiquées dans la Pl. VI (*fig.* 12, 13 et 14) ont la forme d'un ⌐⌐ horizontal. A l'une des extrémités, la pièce se recourbe vers le bas et forme un talon qui vient pénétrer dans le bois de la traverse et dans une entaille pratiquée avec le ciseau à froid; l'autre extrémité se termine par deux griffes verticales qui pénètrent dans des encoches ménagées à cet effet aux extrémités des rails.

Ces dispositions sont indiquées aux croquis.

Position des plaques d'arrêt sur les lignes à une voie. — Lorsque la voie est parcourue dans les deux directions, c'est-à-dire lorsque la ligne est à simple voie, le glissement des rails se produit alternativement dans un sens et dans l'autre. Sur les pentes ces deux mouvements inverses ont des amplitudes inégales; le résultat final de leur superposition est de faire cheminer les rails dans le sens de la pente. Sur les paliers ils sont égaux et en s'annihilant réciproquement ils maintiennent les rails dans une immobilité relative, excepté dans les deux cas suivants où des circonstances spéciales déterminent le cheminement, savoir :

(a) Au pied des pentes et dans le sens des pentes, en raison de la vitesse acquise par la descente qui détermine un entraînement plus prononcé des rails;

(b) Aux abords des gares et dans la direction des gares, en raison de l'action des freins qui accroît le frottement sur les rails.

Les plaques devant arrêter le cheminement dans tous les cas se posent de la manière suivante :

1° Sur les pentes, elles seront placées sous l'extrémité la plus

basse de chaque rail ; les griffes pénètrent dans les encoches de cette extrémité ;

2° Sur les paliers établis immédiatement au pied des pentes, elles sont placées comme sur les pentes elles-mêmes, en sorte qu'un palier intercalé entre deux pentes inverses subit sur chaque moitié de sa longueur le régime de la pente voisine ;

3° Sur les parties de paliers situées aux abords d'une gare et en commençant à une distance de 600 mètres des aiguilles extrêmes, les plaques sont placées sous l'extrémité des rails la plus rapprochée de la gare ;

4° Sur toute autre partie des paliers la position des plaques est indifférente.

ANNEXE D.

CONDITIONS DE RÉSISTANCE DES TRAVERSES.

Les traverses ont les dimensions suivantes :

Longueur.	$1^m,90$
Largeur.	0 ,20
Épaisseur.	0 ,12

Pression du rail sur les traverses. — Nous supposerons que le rail porte au moins sur $0^m,12$ dans le sens de la largeur des traverses (Pl. VI, *fig.* 21).

Le patin ayant $0^m,084$ de largeur la surface de contact sera $0,084 \times 0,12 = 0^{m},01008$.

La pression maxima qui peut s'exercer à l'aplomb des traverses est celle occasionnée par le passage d'une roue pesant 4.000 kilog. ; par unité de surface et reportée au centimètre carré, elle est de

$$R = \frac{4.000}{101} = 39 \text{ kilog.}$$

Pression de la traverse sur le ballast. — La traverse dépasse de $0^m,40$ l'aplomb du rail, nous admettrons que la pression sur le sol se répartira de part et d'autre sur une semblable longueur, soit sur une longueur totale de $0^m,80$; la largeur de la traverse étant $0^m,20$, la surface d'appui est de

$$S = 0,80 \times 0,20 = 0^{m2},160.$$

Sous la charge maxima de 4.000 kilog., la pression sur le ballast est de

$$p = \frac{4.000}{160} = 2^k,500 \text{ par centimètre carré.}$$

La charge que supporte le ballast du chemin de fer du Nord français est de $3^k,3$.

Résistance de la traverse à la rupture. — Nous avons supposé, dans les considérations qui précèdent, que la traverse reportait la pression jusqu'à une distance de 0,40 de part et d'autre du rail (Pl. VI, *fig.* 20).

En admettant que la pression se trouve uniformément répartie, elle peut se traduire par deux réactions Q écartées de 0,40 symétriquement disposées par rapport à l'aplomb du rail et ayant pour valeur totale la pression que le rail exerce sur la traverse, soit

$$2Q = P = 4.000 \text{ kilog.}$$

Ces réactions occasionnent dans la traverse et sous le rail un moment de flexion qui a pour expression

$$\mu = \frac{Pl}{4},$$

dont la valeur est

$$\mu = \frac{4.000 \times 0,40}{4} = 400.$$

La section faible est celle qui correspond au maximum de l'entaille pratiquée pour recevoir les rails; en supposant cette entaille d'une profondeur de 0,01, la traverse se trouve réduite à une épaisseur de 0,11.

Le plus grand effort que supportent les fibres du bois a pour expression

$$R = \mu \frac{V}{I},$$

or,

$$\frac{V}{I} = \frac{0,055}{\frac{1}{12} \times 0,20 \times \overline{0,11}^3} = 2,475.$$

d'où

$$R = 99 \text{ kilog. par mètre carré.}$$

Dans des conditions semblables, les traverses du Nord français supportent une charge de 144 kilog. par centimètre carré.

ANNEXE E.

INCLINAISON À DONNER AU RAIL.

La valeur de 1/10, proposée par M. l'ingénieur en chef des chemins de fer de la Corse pour l inclinaison à donner au rail place le rail dans de mauvaises conditions de résistance dans le sens vertical. En effet, grâce à l'inclinaison du rail et à la conicité égale du bandage des roues du véhicule qui s'appuie sur le champignon, l'action de la pesanteur s'exerce verticalement. Avec le rail ayant une inclinaison de 1/10 la verticale passe en dehors de l'âme du rail et exerce sur la portée la plus faible de ce dernier une action énergique qui le met promptement hors de service.

On peut calculer cet effort et voir quel serait le plus grand écartement que l'on pourrait donner aux traverses si cette inclinaison était adoptée.

L'action à laquelle est soumise l'âme du patin aura son effet maximum au point de raccordement de l'âme du rail avec le congé origine du patin, c'est là, en effet, où la force aura la plus grande puissance, grâce au maximum de longueur qu'atteindra la distance OA, qui agit comme un bras de levier.

Le rail en fléchissant, sous l'influence du poids qu'il supporte, se déformera (Pl. VI, *fig.* 24) sur une longueur de 50 centimètres au minimum (25 centimètres de chaque côté du point où se trouve la charge au moment de la flexion). On peut dès lors supposer que la section de l'âme du patin est soumise à une pression normale exercée en O (Pl. VI, *fig.* 23) et égale à $4.000 \cos\gamma = 383^k,380$.

Cette section peut être considérée comme un solide reposant sur deux appuis de niveau, et la flexion maxima se produira au moment où la charge se trouvera au milieu de la section. On aura dans ce cas, pour la résistance du métal,

$$R = \frac{Pa}{4} \times \frac{V}{I} = \frac{PV}{4I} \times a,$$

$a =$ distance entre les points d'appui.

En calculant les différentes valeurs de R pour les différentes valeurs de a, on trouve

pour $a = 0^m,50$,	$R = 4^k,230$	par millimètre carré de surface.
$a = 0\ ,55$,	$R = 6\ ,238$	
$a = 0\ ,60$,	$R = 6\ ,914$	

On voit donc que, pour que le rail incliné de 1/10 fût en état de supporter la charge d'une roue pesant 4.000 kilog., il faudrait rapprocher les traverses de façon que leur écartement ne dépassât pas $0^m,55$ environ.

Outre les difficultés de la pose signalées plus haut, l'excès de dépense qui serait la conséquence de cette inclinaison nous paraît tout à fait hors de proportion avec les avantages très discutables que l'on pourrait espérer.

Ces considérations s'appliquent non seulement au cas où la ligne est en alignement droit, mais même dans les courbes les plus prononcées. En effet, considérons (Pl. VI, *fig.* 25) un rail incliné de 1/10 dans une courbe de 100 mètres de rayon. La direction de la force de compression ne sera plus la verticale ; elle sera dirigée suivant la résultante des deux forces qui agissent dans ce cas : le poids du véhicule, soit 4.000 kilog., et la force centrifuge calculée suivant la vitesse maxima des trains circulant sur la voie. L'intensité de cette dernière est donnée par la formule

$$F = \frac{Dv^2}{gR},$$

dans laquelle

D = écartement des bords intérieurs des rails,
R = rayon de courbure de la voie,
v = vitesse du train à la seconde.

On a plus simplement

$$F = \frac{D}{g} \cdot \frac{V^2 \overline{1.000}^2}{\overline{3.600}^2 R},$$

V = vitesse en kilomètres et à l'heure.

Pour D = 1 mètre $F = \dfrac{V^2}{127 R}$.

Faisons V = 40 kilom. : on a

$$F = 0,126,$$

la direction de la résultante des deux forces est donc

$$\text{tang } \omega = \frac{0,126}{4.000} = \text{tang } 1'3''.$$

Soit pour ω une valeur de 1'3", quantité insignifiante et qui ne peut suffire à faire passer la résultante des forces dans l'âme du

rail, puisque, pour que ce résultat fût atteint, il faudrait, ainsi que l'indique l'épure (Pl. VI, *fig.* 3), que $\omega = 2°$.

Avec l'inclinaison de 1/20, au contraire, la résultante des forces qui agissent sur le rail ne sort pas de l'âme dudit rail qui, par conséquent, se trouve dans les conditions régulières de résistance (Pl. VI, *fig.* 4).

ANNEXE F.

(Annexe remise par M. Martin.)

L'adoption d'une voie de 1 mètre de largeur a principalement pour but de réduire les dépenses de premier établissement en permettant aux ingénieurs de tracer les chemins de fer avec des courbes de très faible rayon lorsque ces chemins de fer pénètreront dans les gorges escarpées des montagnes de la Corse. Il est même probable que ces courbes devront être admises sur les points où la déclivité atteindra la limite maxima.

Il faudra donner au rail extérieur un surhaussement relativement considérable, et il est certain que la machine (quelque que soit la perfection avec laquelle elle sera construite) éprouvera des mouvements de lacet, de roulis ou de tangage assez accentués lorsqu'elle suivra une courbe de 100 mètres en descendant des pentes de 0,025 à 0,030. Il importe donc au plus haut degré d'adopter dans cette circonstance le système de voie dont les attaches résisteront le mieux aux efforts horizontaux exercés au sommet du rail par les coups de lacet de la machine. Or, il est incontestable que la voie à double champignon présente une stabilité beaucoup plus grande que la voie Vignole, surtout en ce qui concerne la résistance aux efforts transversaux.

Rappelons en quelques mots les avantages que présente la voie à double champignon à ces points de vue.

1° A la force qui tend à écarter les rails la voie Vignole ne résiste que par le crampon extérieur, tandis que la voie à double champignon oppose la résistance de *toutes les chevillettes*.

2° A la force qui tend à renverser le rail la voie Vignole ne résiste que par le crampon intérieur, tandis que les deux chevillettes de la voie à double champignon résistent ensemble. Le couple résistant du crampon a pour bras de levier la base du rail Vignole,

tandis que les couples résistants des deux chevillettes du rail à double champignon peuvent être mesurés par la largeur totale du coussinet qui est généralement égale à trois fois la largeur du patin.

3° Si, pour résister à l'effort horizontal qui tend à augmenter l'écartement des rails, on emploie les bagues en fonte indiquées par M. l'ingénieur en chef, on répartit la pression du crampon sur une plus grande surface de bois, mais on crée une autre cause de destruction de la traverse et, en fait, les crampons de la voie Vignole tendent toujours à prendre du jeu, à élargir leurs trous et à fendre les traverses.

Si, pour rendre deux crampons solidaires, on pose une ou deux selles en fer par rail, on n'intéresse à la résistance que deux ou quatre crampons supplémentaires; l'encastrement des sellettes dans les traverses en active notablement la destruction, sans compter que les selles créent deux points d'appui à surface réduite sous lesquels le bois cède promptement.

4° Si, pour résister au couple qui tend à renverser les rails, on double les crampons intérieurs, cette multiplication de crampons a pour effet de détruire rapidement la traverse et cet effet destructeur sera d'autant plus rapide que les traverses, dans le cas particulier qui nous occupe, ont naturellement des dimensions plus faibles.

Pour combattre la double tendance du rail Vignole à prendre un surécartement dangereux et à se renverser, la compagnie P.-L.-M. s'est décidée à élargir le patin de manière à pouvoir le percer pour livrer passage aux crampons; nous ne pouvons pas proposer un pareil expédient avec les rails légers de la voie étroite.

5° Ajoutons que le rail Vignole se pliera moins facilement que le rail à double champignon suivant les courbes de 100 mètres et même de 60 mètres de rayon qu'on sera obligé d'adopter dans quelques circonstances exceptionnelles.

6° Pour s'opposer au mouvement longitudinal des rails Vignole, on fait ordinairement une encoche dans le patin du rail. Cette encoche crée un point faible et nous avons remarqué que les ruptures se manifestaient fréquemment sur ce point, principalement avec les rails d'acier. Il suffit avec le rail à double champignon de faire porter l'éclisse intérieure sur les coussinets pour s'opposer très efficacement à ce mouvement.

7° La voie à double champignon présente par sa masse plus de résistance que la voie Vignole aux mouvements de lacet ou de roulis de la machine.

8° La saillie du rail à double champignon sur les traverses étant plus grande que la saillie du rail Vignole, on peut, en enveloppant les traverses et les coins d'une couche assez épaisse de ballast, les protéger efficacement contre les variations atmosphériques.

Ajoutons enfin que la masse du ballast qui doit recouvrir les traverses et les coins de la voie à double champignon augmentera encore la stabilité du système.

9° La voie à double champignon pourrait sans inconvénient grave être utilisée pour l'exécution des travaux, tandis que la voie Vignole subirait une notable dépréciation.

En résumé, si quelques-uns des avantages de la voie à double champignon que nous n'avons pas cru devoir rappeler ont été contestés, il en est un sur lequel tout le monde est d'accord, c'est qu'elle présente une stabilité beaucoup plus grande que la voie Vignole et qu'elle résiste mieux aux coups de lacet qui se feront sentir énergiquement sur des courbes de très faible rayon.

Il y aurait donc lieu de recommander le rail à double champignon pour les voies étroites tracées avec des courbes de faible rayon.

DEUXIÈME PARTIE.

TYPE DU RAIL A DOUBLE CHAMPIGNON A ADOPTER POUR LES CHEMINS DE LA CORSE.

En conformité de la décision ministérielle du 3 mai 1877, la sous-commission avait, dans son précédent rapport, présenté à l'approbation du Comité de l'exploitation technique des chemins de fer et de l'administration un modèle de rail en acier, du type à patin qu'elle avait adopté, ne pensant pas qu'il lui appartînt de s'écarter des prescriptions de la décision ministérielle et de recommander un type de rail à coussinets, malgré l'intérêt que pourrait présenter une expérience de ce type faite sur un chemin à déclivités et à courbes très prononcées.

Le Conseil général des ponts et chaussées ayant émis l'avis, à la date du 8 juin 1881, que le rail à double cham-

pignon, en acier, pesant environ 20 kilogrammes le mètre courant, devait être substitué au rail à patin et adopté pour les chemins de la Corse, M. le ministre des travaux publics a invité M. Dubois, ingénieur en chef de la Corse, à faire une étude de ce rail. Sur la demande de M. l'inspecteur général Delestrac, cette étude a été soumise au Comité technique de l'exploitation des chemins de fer qui l'a renvoyée à l'examen de la sous-commission. Après avoir pris connaissance du rapport de M. l'ingénieur en chef de la Corse et en avoir discuté les éléments, la sous-commission a pensé à l'unanimité, que le type de rail à double champignon, destiné aux chemins de la Corse, devait répondre au programme suivant :

1° *Le rail sera à champignon dissymétrique.* — L'emploi de l'acier rendant très minime l'avantage du retournement et le retournement étant, d'ailleurs, rendu en fait inutile par le peu d'importance de la circulation probable des chemins de la Corse et par la durée presque illimitée du champignon supérieur, résultant de la faiblesse relative de l'usure, la sous-commission a été unanime à penser qu'il convenait d'abandonner franchement l'idée du retournement et, par suite, de donner au bourrelet inférieur la forme la plus rationnelle au point de vue de la résistance et de la bonne assiette dans le coussinet.

2° *Le rail pèsera un peu plus de 20 kilogrammes.* — Grâce à cette légère augmentation du poids du rail, il est possible de lui donner, dans le sens vertical, ainsi que dans le sens horizontal, une résistance à peu près équivalente à celle du rail à patin primitivement adopté.

3° *Le joint sera en porte-à-faux.* — La suppression du joint soutenu permet d'éviter des pièces spéciales au joint ; cette disposition est aujourd'hui généralement recommandée.

4° *Les éclisses se rapprocheront, autant que possible, comme résistance, comme poids et inclinaison de serrage, du type étudié pour le rail à patin.*

5° *Le coussinet sera à large base.* — Avec un coussinet massif, présentant une large surface d'attache sur la traverse et retenu à cette traverse par des tirefonds écartés, on diminue, en effet, la destruction de la traverse et on donne à la voie une grande résistance à l'arrachement. Cette condition a paru d'autant plus importante à la sous-commission que le choix du rail à double champignon a été plus particulièrement motivé par les sinuosités du tracé des chemins corses et par cette circonstance, indiquée dans le rapport de M. l'ingénieur en chef Dubois, que faute de chêne ou de hêtre en quantité suffisante, il faudra admettre pour les traverses l'essence de bois tendre, comme le pin.

C'est en partant de ces données générales, qu'a été établi le type soumis à l'approbation du Comité technique.

Ainsi que le rappelle M. l'ingénieur en chef de la Corse, il n'existe, pour ainsi dire, pas de type de rail à double champignon rentrant à peu près dans les conditions de poids résultant de l'adoption de la voie étroite. La sous-commission a donc dû faire une étude spéciale de la question ; mais empressons-nous d'ajouter qu'elle s'est grandement inspirée des types de voies à coussinets les plus récents et considérés, à juste titre, en Angleterre, comme les meilleurs. Tels sont les types du Great Northern, du North Eastern et spécialement du type *Bullheaded* ou tête de bœuf, appliqué sur le Métropolitain.

Le type ainsi étudié présente les dimensions suivantes, que nous mettrons en regard des dimensions du rail à patin précédemment étudié :

	RAIL à patin primitivement adopté par la Commission.	RAIL à double champignon dissymétrique recommandé par la Sous-Commission.
Hauteur totale	$0^{m},098$	$0^{m},100$
Largeur du champignon supérieur	0 ,046	0 ,050
Largeur du patin au champignon inférieur	0 ,084	0 ,058
Epaisseur de l'âme	0 ,010	0 ,011
Angle d'épaulement	126° 52′ 20″ (tg 1/2)	126° 52′ 20″ (tg 1/2)
Section du rail	$0^{m2},002632$	$0^{m2},002796$
Poids du rail	$20^{kg},575$	$21^{kg},865$
Hauteur du centre de gravité au-dessus du plan de la base du patin	$0^{m},049$	$0^{m},061$
Moment d'inertie	0,00000435	0,000003978500
Effort maximum de compression (rail supposé neuf par millimètre carré de section) :		
L'espacement des traverses étant, d'axe en axe, de 0,85 pour les traverses intermédiaires	$5^{m},685$	$6^{m},54$
L'espacement des traverses étant, d'axe en axe, de 0,55 au joint	$6^{m},207$	6 ,41
Longueur des coussinets	»	0 ,290
Largeur d'appui du rail sur le coussinet	»	0 ,130
Poids du coussinet	»	10 kilog. environ
Poids des tire-fonds	»	$0^{kg},315$
Diamètre des tire-fonds	»	$0^{m},019$
Hauteur de l'éclisse	$0^{m},065$	0 ,062
Longueur de l'éclisse	$0^{m},360$	0 ,360
Poids de l'éclisse (trous déduits)	$2^{kg},252$	$2^{kg},144$
Résistance par millimètre carré de section — au cisaillement	1 ,188	1 ,238
Résistance par millimètre carré de section — à la flexion	2 ,708	2 ,179

Le type de rail ainsi établi présente donc de bonnes conditions de résistance, avec une augmentation de poids peu importante sur le poids du rail primitif à patin. La résistance verticale, qui est très suffisante, n'est pas sensiblement inférieure, et la résistance horizontale, dont il y a lieu de se préoccuper le plus, est supérieure. Les calculs de l'annexe ci-jointe font ressortir qu'elle est à celle du rail à patin dans la proportion de 1.000 à 878.

Dans ces conditions, malgré la modification apportée au profil du rail, toutes les autres données de la voie primitivement étudiées sont applicables au nouveau type et la sous-commission ne peut que renvoyer à son premier rapport pour tout ce qui concerne : la largeur de la voie; les

déclivités ; le rayon des courbes ; le jeu de la voie ; le surécartement de la voie dans les courbes ; le surhaussement de la voie ; la longueur des rails ; le plan de pose des rails ; les tirefonds ; les dimensions et l'écartement des traverses ; la pose du rail ; les changements de voie.

En ce qui concerne les traverses, M. l'ingénieur en chef de la Corse fait connaître que, contrairement aux renseignements donnés primitivement à la sous-commission, le hêtre n'est point assez abondant en Corse pour fournir la quantité suffisante de traverses. Etant donnée l'adoption d'un rail à large coussinet, le choix de l'essence a une importance moindre et la sous-commission pense qu'il n'y aurait point d'inconvénients sérieux à adopter le pin créosoté, qui a l'avantage de pouvoir être livré avec des équarrissages excellents et identiques.

Enfin, la sous-commission croit pouvoir recommander de couvrir les traverses d'une épaisseur de ballast de $0^m,05$ à $0^m,06$ environ. Cette couverture lui paraît présenter de sérieux avantages, tant au point de vue de la conservation des traverses que de la stabilité de la voie.

Paris, le 25 novembre 1881.

Le Rapporteur,
A. SARTIAUX.

Le Président,
E. MARIÉ.

ANNEXES

CONDITIONS DE RÉSISTANCE DU TYPE DE RAIL A COUSSINET (TYPE BULLHEADED) ET DE L'ÉCLISSE RECOMMANDÉS PAR LA SOUS-COMMISSION.

Profil du rail. — Le rail, dont le croquis est indiqué Pl. VI, *fig.* 5, rappelle dans sa forme générale le rail anglais à coussinet type Bullheaded en usage sur le Métropolitain. Il a une section de $0^{m2},002796$ et pèse au mètre courant $21^k,865$.

Ses dimensions principales sont les suivantes :

Hauteur du rail	$0^m,100$
Largeur du champignon inférieur	0 ,058
Largeur du champignon supérieur	0 ,050
Épaisseur de l'âme	0 ,011

I. — Résistance dans le sens vertical.

1° *Portée intermédiaire.* — Dans ce cas, le rail peut être considéré comme un solide reposant sur deux appuis de niveau et encastré à ses deux extrémités. Le centre de gravité du rail est assez élevé, il se trouve à $0^m,061$ au-dessus de la fibre extrême du champignon inférieur et cela par suite du développement relativement considérable du champignon supérieur.

Le moment d'inertie I est égal à 0,000003978500 ; soient :

- R la résistance du rail par millimètre carré de section,
- P la charge maxima en une section déterminée,
- a la distance des sections d'encastrement comptée entre les bords intérieurs des coussinets,
- I le moment d'inertie du rail par rapport à son centre de gravité,
- V la distance entre les fibres extrêmes et la fibre moyenne.

La résistance R est donnée par l'expression générale

$$R = p\frac{V}{I},\ p \text{ étant le moment fléchissant.}$$

Dans le cas actuel

$$p = \frac{4}{27}\,P.a.$$

Donc

$$R = \frac{4}{27}\,P.a.\,\frac{V}{I}.$$

En admettant, comme dans le précédent rapport, que la charge maxima sur l'essieu le plus chargé des machines en service est de 8.000 kilog., ou de 4.000 kilog. par roue

$$P = 4.000 \text{ kilog.}$$

En conservant l'écartement 0,85 entre les axes des traverses, primitivement fixé pour le rail à patin et en admettant une largeur de coussinet de 0,130, on voit que a sera égal à 0,72.

Enfin, pour le profil adopté, V = 0,061.

On a donc

$$R = \frac{4}{27} \times 4.000 \times 0,72 \times \frac{0,061}{0,0000039785oo}.$$

En effectuant les calculs on trouve

$$R = 6^k,54,$$

chiffre très admissible pour l'acier et relativement peu supérieur à celui de $6^k,50$ primitivement admis.

2° *Portée de joint.* — Si l'on suppose le joint en porte-à-faux et placé au milieu de l'intervalle qui sépare deux traverses, chaque about de rail peut être considéré comme un solide encastré à l'une de ses extrémités et soumis à l'autre à l'action d'une force distincte. Le moment de flexion sera maximum à l'aplomb de chaque traverse ou plus exactement dans la section qui se trouve à l'aplomb du bord interne du coussinet.

Dans ce cas, on a toujours

$$R = p \times \frac{V}{I}.$$

Mais,

$$p = \frac{P}{4} \times a.$$

Il vient donc

$$R = \frac{P}{4} \cdot a \cdot \frac{V}{I}.$$

Dans cette formule la valeur a est la moitié de la distance qui sépare la section d'encastrement de l'about du rail.

L'espacement des traverses de joint pour le rail à patin était de 0,55.

En conservant cet écartement et en en retranchant la largeur 0,130 d'un coussinet, on a

$$R = \frac{4.000}{4} \times 0,42 \times \frac{0,061}{0,0000039785oo}.$$

En effectuant les calculs, on trouve

$$R = 6^k,44.$$

II. — Résistance dans le sens transversal.

On peut encore considérer le rail dans le sens transversal comme un solide encastré à ses deux extrémités et reposant sur deux appuis de niveau.

En désignant par Q la force inconnue P des formules précédentes, on aura donc encore

$$R = \frac{Vp}{I} = \frac{4}{27} Q \cdot a \frac{V}{I}.$$

Comme on ne peut pas évaluer Q, on ne peut déterminer R que par comparaison. Si donc on cherche, par rapport au rail à patin antérieurement étudié, quelle sera dans le sens vertical la résistance du rail dont il s'agit, on voit que :

Si nous désignons par :

R_1, Q_1, a_1, V_1, I_1 les quantités précédemment dénommées pour le rail type Bullheaded, et par :

R_2, Q_2, a_2, V_2, I_2 les mêmes quantités pour le rail à patin, on peut écrire

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{Q_1 a_1 \frac{V_1}{I_1}}{Q_2 a_2 \frac{V_2}{I_2}} = m.$$

Or, si nous conservons le même écartement pour les traverses et si l'on suppose la même force Q agissant dans les deux cas, on voit que

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{V_1}{I_1}}{\frac{V_2}{I_2}} = \frac{\frac{0.029}{0.0000003905}}{\frac{0.042}{0,0000000496}} = 0,877,$$

$$m = 0,877$$

C'est-à-dire que l'effort R_1, supporté par le rail type Bullheaded, est, sous l'action de la même cause, les 0,877 de l'effort R_2 supporté par le rail à patin primitivement étudié.

III. — Eclisses.

1° *Résistance des éclisses.* — Dans le rapport de la commission on a admis que par l'intermédiaire des éclisses une charge placée au milieu de la portée de joint se répartissait par moitié sur chaque

about de rail. Les éclisses résistent donc à un effort tranchant ayant pour valeur la moitié de la charge P, soit $\frac{4.000}{2} = 2.000$ kilog.

Les éclisses ont été faites aussi identiques que possible à celles primitivement étudiées pour le rail à patin (Pl. VI, *fig.* 6).

La section d'une éclisse est de $0^{m2},000808$.

Soit pour deux semblables $0^{m2},001616$.

La résistance au cisaillement, dans le cas de la plus grande fatigue et par millimètre carré de section, est de

$$R = \frac{2.000}{1.616} = 1^k,237.$$

2° *Travail du fer dans les éclisses.* — Le milieu de l'éclisse occupant le milieu de la travée, l'effort y est maximum lorsque la charge P est appliquée à ce point. Si l'on désigne par π la résultante des pressions verticales appliquées de chaque côté par le rail sur chacune des deux portées supérieure et inférieure de l'éclisse supposée horizontale, d étant la distance des points d'application des forces π et $-\pi$, on a établi dans le rapport sur le rail à patin la formule suivante

$$\pi = \frac{Pa}{16d}.$$

Dans cette formule

$$P = 4.000, \quad a = 0,55 - 0,13 = 0,42, \quad d = \frac{l}{3},$$

en désignant par l la demi-longueur de l'éclisse.

Si l'on fait $l = 0,180$, on voit que

$$d = 0,060.$$

En portant ces valeurs dans l'expression précédente, il vient

$$\pi = 1.750 \text{ kilog.}$$

Soit $2^k,179$ par millimètre de section.

3° *Poids d'une éclisse.* — La densité du fer étant prise égale à 7,7 et en supposant que la longueur de l'éclisse soit de 0,360, l'éclisse étant percée de quatre trous de 0,015 de diamètre pour le passage des boulons, on trouve que le poids d'une éclisse est de $2^k,144$.

IV. — Coussinets.

Les rails reposent sur les traverses par l'intermédiaire de larges coussinets en fonte (Pl. VI, *fig.* 7 et 8) du poids de 10 kilog. environ. Les coussinets sont fixés sur les traverses par trois tirefonds de 0,019 de diamètre.

V. — Durée des rails.

Si l'on admet que dans les conditions les plus défavorables, sous l'influence de pentes assez raides et de courbes de petits rayons, l'usure de 1 millim. se produit après le passage de 5.000.000 de tonnes (*), on voit qu'en prenant une circulation annuelle atteignant même 100.000 tonnes sur les rails des chemins de la Corse, l'usure de 1 millim. se produirait après cinquante ans environ de service.

Si l'on admet que le rail soit hors d'usage après une augmentation de 25 p. 100 de la valeur primitive de R, le calcul indique que dans ce cas le rail est usé de 0m,007 et qu'il a perdu 14 pour 100 de son poids. 1 millim. d'usure correspondant à cinquante ans, le rail étudié aurait une durée de trois cent cinquante ans environ.

TROISIÈME PARTIE

MATÉRIEL ROULANT

CONDITIONS GÉNÉRALES

Les conditions d'établissement du matériel de traction et du matériel roulant destinés au service des chemins de fer de la Corse sont déterminées par le programme général de M. l'ingénieur en chef Gay, et par les conditions mêmes de l'établissement de la voie, telles que les a proposées la sous-commission dans la première partie de son rapport.

(*) On admet généralement 1 millim. d'usure pour 10 à 20 millions de tonnes.

Cette étude a été faite en admettant que les conditions du tracé comporteraient en général des déclivités nettes (c'est-à-dire comprenant l'influence de la courbe) ne dépassant pas 25 millimètres par mètre, et des courbes d'un rayon supérieur à 100 mètres; les courbes de 100, 200, 300 et 400 mètres étant considérées d'ailleurs comme équivalentes à des déclivités de 4, 3, 2 et 1 millimètres.

Pour le passage des faîtes, pour lesquels on admet des rampes de 30 millimètres, la sous-commission, d'accord avec M. l'ingénieur en chef Gay, pense qu'il y aura lieu de recourir à la double traction; mais elle ajoute que cette double traction devra se faire en plaçant, pour monter la rampe, la première machine en tête du train et la seconde machine en queue, non attelée, et les deux machines en tête, pour la descente; on observerait d'ailleurs les prescriptions que la pratique a, depuis plusieurs années, sanctionnées pour le service des fortes rampes sur les grands réseaux de France.

La sous-commission trouve prudent que, sur les rampes un peu longues, soient ménagés quelques paliers permettant la reprise des machines, et elle considère comme indispensable qu'il y ait, au faîte de ces rampes, un palier à voie dédoublée, de longueur suffisante pour permettre la manœuvre du passage de la seconde machine de la queue à la tête du train.

Nous devons rappeler que, d'après la proposition de M. l'ingénieur en chef de la Corse et la première partie de ce rapport dont les conclusions ont été adoptées par le Comité technique, une condition absolue de l'établissement des chemins de fer corses est que le rayon minimum des courbes restera fixé à 100 mètres. La sous-commission, dans l'étude du matériel, a admis cette condition essentielle, et la limite fixée ne saurait être dépassée sans de graves inconvénients pour le matériel projeté, notamment pour le matériel à voyageurs. Sans doute on pourrait, pour

les chemins tracés dans d'autres conditions, adopter une limite de rayon inférieure à 100 mètres, mais le matériel devrait être étudié en conséquence, soit avec des entr'axes moindres, soit en employant des trains articulés ou des boîtes radiales. La sous-commission a cru devoir joindre à son rapport les croquis de quelques types de ce genre. (Voir planches IX, XI et XIII).

Distance des essieux du matériel roulant. — La courbe limite de 100 mètres permet de donner aux véhicules portés sur deux essieux un empatement de 3 mètres.

En effet, en introduisant cette valeur dans la formule pratique

$$2\delta = \frac{de}{2\rho}$$

admise pour l'établissement du jeu, où 2δ représente le jeu total, perpendiculaire à l'essieu, des boîtes dans les plaques de garde, d la distance des essieux (3 mètres), ρ le rayon minimum (100 mètres), e la largeur de la voie d'axe en axe ($1^m,050$) (*), on trouve pour δ la valeur

$$\delta = \frac{3 \times 1.050}{400} = 0,0079.$$

soit environ un jeu de $0^m,008$ entre les joues des boîtes à graisse et les branches des plaques de garde correspondantes. Ce jeu est parfaitement admissible et ne nuira en rien à la stabilité du matériel.

Conicité des bandages. — La conicité des bandages sera 1/20 ou mieux 1/17 (déjà admise par la sous-commission).

Maximum de charge sur les essieux. — La sous-commission a également cru devoir profiter de toute la latitude

(*) Dans ces calculs nous avons supposé adopté le rail à double champignon de $0^m,050$ de largeur de tête.

que lui laissait le choix d'un rail de 20k,6 environ par mètre courant, en acier, pour déterminer la charge maxima qu'on pouvait imposer à chaque essieu. Cette charge a été fixée à 8 tonnes, et cette détermination permettra d'établir une locomotive de traction et d'adhérence suffisantes, et des wagons pouvant contenir 10 tonnes de charge utile.

Tampons et traction. — Enfin, la sous-commission a pensé que le matériel devait être établi avec le système du tampon central, mais à la condition que la traction serait continue et rigide, et le système de choc, élastique, de sorte que l'effort de traction ne puisse ni diminuer, ni, à plus forte raison, *supprimer* la pression des tampons l'un sur l'autre; en effet, dans le cas où la séparation des tampons se produirait, il en résulterait, pour le train, une instabilité qu'il est, en tout cas, prudent d'éviter.

Ce système est d'ailleurs généralement employé sur tous les chemins de fer à voie étroite de France, de Suisse, de Suède, d'Angleterre, du Pérou, du Brésil, des Indes et de l'Amérique du Nord; aux États-Unis, tout le matériel de grande et de petite voie est ainsi construit. Cette disposition, dans laquelle on conserve les chaînes de sûreté, présente les plus grands avantages au point de vue des facilités d'accrochage et d'accès de la partie centrale de l'attelage, que la présence de deux tampons rendrait si difficiles dans un matériel où l'axe de traction est placé très bas.

L'expérience a sanctionné les avantages de ce système pour les voies étroites. Il est évident que cette disposition ajoute à la souplesse des trains et facilite le passage dans les courbes. Sous ce rapport, elle doit diminuer la résistance du train, ainsi que l'usure des bandages et de la voie.

Ces données générales admises, la sous-commission, pour se guider dans le choix des types qui devaient convenir au service des lignes de la Corse, avait sous les yeux l'exemple de plusieurs chemins de fer à voie étroite, et en

particulier l'exemple récent de la ligne de Hermes-Beaumont. Elle en a tiré parti.

LOCOMOTIVE.

Matériel de traction. — La sous-commission a pensé avant tout qu'il convenait de n'avoir qu'un type de locomotive pouvant répondre à tous les besoins du trafic, c'est-à-dire pouvant, sur des profils favorables et avec des charges faibles, présenter l'avantage d'une vitesse maxima de 40 kilomètres à l'heure, et sur des déclivités variant jusqu'à 25 millimètres, remorquer encore des charges suffisantes à vitesse réduite. La locomotive devait de plus, tout en présentant la puissance et l'adhérence requises, avoir assez de souplesse pour passer dans les courbes qui peuvent s'abaisser jusqu'à un rayon de 100 mètres.

Locomotive de Hermes-Beaumont. — Or, la locomotive de Hermes-Beaumont (Pl. X, *fig.* 1, 2) fait précisément un service de ce genre sur une voie à déclivités de 20 millimètres et à courbes de 100 mètres, et donne toute satisfaction.

La locomotive de Hermes-Beaumont, qui est à peu près celle qu'on avait étudiée pour la ligne d'Anvin à Calais, est en service depuis plus de deux ans; elle a été employée au ballastage de la ligne, dans des conditions de traction exceptionnellement défavorables et dures. Elle a répondu aux espérances qui en avaient conseillé le choix. C'est une machine-tender à trois essieux accouplés, à roues de $0^m,90$ de diamètre; la charge sur chaque essieu n'excède jamais 7 tonnes et l'empatement des essieux accouplés n'est que de $2^m,07$. L'adhérence maxima totale est de 20 tonnes; la machine vide ne pèse que $17^t,650$.

Pour permettre de loger les approvisionnements d'eau et de combustible, et pour donner au mécanicien toute la place nécessaire au service de la machine, l'arrière de la

plate-forme prolongée derrière le foyer est porté sur un train indépendant articulé, à un seul essieu, du système Bissel, qui porte une charge maxima de $3^t,5$, et dont les roues ont $0^m,70$ de diamètre. Cette machine, grâce à son adhérence relativement considérable, à son empatement total qui est de $3^m,97$, et à la mobilité du train porteur d'arrière, jouit d'une stabilité remarquable, jointe à une flexibilité extrême pour le passage dans les courbes les plus raides.

La locomotive est munie d'un frein à contre-vapeur, d'un frein à vis agissant sur les roues accouplées d'arrière, et d'un frein à vide actionnant les mêmes roues par d'autres sabots; les sabots du frein à vide sont en fonte.

Type proposé par la sous-commission. — Les dispositions générales de ce type ont été acceptées par la sous-commission, mais elle a pensé qu'elle devait modifier quelques données de l'établissement de la locomotive pour l'approprier au trafic d'un réseau plus important, présentant des déclivités de 25 millimètres, et sur lequel il peut être nécessaire de donner aux trains une vitesse plus grande.

La charge sur les roues accouplées a été portée au maximum de 8 tonnes par essieu; la chaudière a été allongée et la surface de chauffe augmentée; le timbre de la chaudière (pression de la vapeur) a été porté à 10 kilog. (au lieu de $8^k,5$). Les roues accouplées ont un diamètre de 1 mètre au roulement, ce qui permettra de faire prendre à la locomotive, sans fatiguer son mécanisme et sans exagérer la consommation de vapeur, une vitesse plus grande, lorsque les nécessités du trafic l'exigeront. L'empatement rigide est de $2^m,17$; l'empatement total est de $4^m,17$. (Pl. VII et VIII).

En même temps, les approvisionnements d'eau ont été portés de 3.000 à 4.000 litres. La charge du Bissel, sur lequel repose une partie du poids du foyer, s'est élevée à

4ᵗ,500 en ordre de marche, de sorte que le poids total de la machine entièrement *vide* est de 21ᵗ,700. Pleine et munie de tous ses approvisionnements, elle pèse 28ᵗ,500. Son poids adhérent varie de 20.000 à 24.000 kilog.

Nous choisissons, pour les calculs, le poids minimum de 20 *tonnes*, correspondant au cas où la machine marche avec tous ses approvisionnements épuisés.

Une locomotive presque semblable a été construite par la Société alsacienne de constructions mécaniques, dont les ateliers sont à Belfort, pour un chemin de fer à voie étroite d'Algérie (ancienne société Debrousse), et a donné de très bons résultats.

Les principales conditions de l'établissement de cette locomotive, dont le dessin est annexé (Pl. VII et VIII), sont les suivantes :

Diamètre moyen de la chaudière		$1^m,000$
Timbre de la chaudière	p	$10^{kg},00$
Nombre des tubes		123
Diamètre moyen des tubes		$0^m,041$
Longueur des tubes		$3^m,400$
Surface de chauffe du foyer	F	$4^{m2},52$
— — des tubes	t	$53^{m2},83$
— — totale	S	$58^{m2},35$
— — de la grille	G	$1^{m2},076$
Rapports	$\frac{S}{G}$	54,22
—	$\frac{S}{t}$	1,084
—	$\frac{t}{F}$	11,90
Diamètre des cylindres	d	$0^m,350$
Course des pistons	l	$0^m,460$
Diamètre au contact des roues couplées	D	$1^m,00$
— — — porteuses		$0^m,700$
Empatement total des roues couplées		$2^m,170$
— — de la machine		$4^m,170$
Longueur totale de la machine		$8^m,150$
Largeur — —		$2^m,560$
Entre les mentonnets des rails		$1^m,000$
Limite de l'adhérence (coefficient 1/7) $20^t,00 \times 0,14$.		$2^t,800$
Poids de la machine à vide		$21^t,700$
Poids adhérent minimum		$20^t,000$
Eau dans la chaudière et combustible		$2^t,000$
Eau dans les caisses		$4^t,000$

Combustible dans les soutes.		0t,800
Poids maximum de la machine en service.	P	28t,500
Charge sur le bissel de la machine en service . . .	b	4t,500
Charge sur les roues accouplées de la machine en service.	a	24t,000
Charge sur chacun des essieux accouplés de la machine en service		8t 000

Telles sont les données qui ont servi à établir le calcul de la puissance de la machine dans les différentes conditions de service. Nous résumons, dans le tableau ci-dessous, les charges que, d'après le calcul, la machine pourra remorquer sur diverses rampes et à diverses vitesses.

RAMPES continues en millimètres, y compris la résistance de la courbe.	VITESSES EN KILOMÈTRES.							
	10	15	20	25	30	35	40	45
0,00	904	819	748	608	483	382	306	248
2,50	480	453	430	363	297	243	200	165
5,00	321	308	296	254	210	174	145	121
7,50	237	230	223	192	160	133	111	93
10,00	186	181	176	153	127	106	88	73
15,00	126	124	121	105	87	72	59	49
20,00	92	91	89	77	63	51	42	34
25,00	71	' 69	68	58	47	38	30	23
30,00	55	55	54	45	36	28	22	16
35,00	44	44	43	36	28	21	15	11

Les trois premières colonnes du tableau indiquent les charges limites données par l'adhérence, qui sont inférieures aux charges correspondant au travail de la vapeur ; les cinq dernières colonnes indiquent les charges correspondant au travail de la vapeur.

NOTA. *Ces charges ont été calculées par la méthode en usage sur le réseau de la Compagnie du chemin de fer de Paris-Lyon-Méditerranée. (Voir aux annexes les formules employées et une note remise par M. Ledoux sur le même sujet).*

PARTICULARITÉS ET DÉTAILS DE CONSTRUCTION

Bissel. — Le Bissel (Pl. VII et VIII) se compose, comme on sait, d'un train articulé à un seul essieu dont le châssis est en forme de triangle rigide. Le sommet de ce triangle est l'axe d'une cheville ouvrière *i*, autour duquel le Bissel peut osciller avec une faible amplitude.

L'arrière de la machine repose sur le châssis du Bissel par une double traverse *t*, placée à l'aplomb de cet essieu. Cette traverse est munie d'un pivot *o* qui lui est fixé, et autour duquel peut tourner un balancier horizontal *b*, indépendant, terminé par des palettes *p*, à plans inclinés; ces palettes sont engagées entre les plaques d'appui de la traverse *t* du châssis de la machine et les plans inclinés de la traverse *t't'* du châssis du Bissel. Cette disposition a le même objet que les plans inclinés que l'on place quelquefois au-dessus des boîtes des essieux qui doivent se déplacer longitudinalement; seulement, dans le cas du Bissel, les plans inclinés doivent suivre le mouvement de rotation du Bissel; ils ne prennent toutefois, grâce au pivot *o*, que des glissements parallèles à l'essieu. Les surfaces en contact sont soigneusement lubrifiées.

Boîte radiale Roy. — Le système du Bissel a pour lui la sanction de l'expérience; la sous-commission croit donc devoir le recommander. Toutefois elle veut signaler une disposition, actuellement essayée au chemin de fer du Nord, et qui atteint le même but, avec des organes un peu plus simples : c'est la boîte radiale Roy, dont elle donne le dessin dans la planche IX, *fig.* 8 à 10.

Attelage et tamponnement. — Le matériel est à traction continue et à tamponnement central. L'axe du tamponnement est à $0^m,805$ du rail, l'axe de traction à $0^m,655$; la

distance de $0^m,15$ entre ces deux axes, jointe à un évidement pratiqué à la partie inférieure du boisseau de tampon, permet d'accrocher et de serrer facilement les attelages.

Freins. — La machine sera munie d'un frein à contre-vapeur, très utile pour la descente des pentes, et d'un frein à vis avec sabots conjugués, agissant sur les roues d'avant et d'arrière. La manœuvre du frein à vis pourra se combiner avec l'application d'un frein continu, dont il sera question plus loin; ou les deux mécanismes pourront être indépendants, comme dans la locomotive de Hermes-Beaumont, disposition qui a donné de bons résultats.

Jeu des boîtes. Articulation des bielles accouplées. — Comme l'empatement rigide de la machine est très faible ($2^m,17$), l'inscription dans les courbes n'exige que très peu de jeu longitudinal dans les boîtes; ce jeu sera établi par la formule suivante, où j représente le jeu total, ρ le rayon de la courbe, et d la distance de la ligne moyenne des essieux fixes à l'essieu d'avant :

$$j = \frac{d^2}{2\rho} \left\{ \begin{array}{l} d = 1,635 \\ \rho = 100 \end{array} \right.$$

d'où $j = 0^m,015$ environ.

Il ne sera donc nécessaire que de laisser 8 millimètres de jeu de chaque côté, à l'essieu d'avant, pour satisfaire à toutes les conditions de flexibilité. Pour éviter toute fatigue des accouplements, les bielles d'avant porteront une articulation sphérique.

Jeu entre les boudins des roues et le rail. — La relation nécessaire pour qu'il n'y ait pas glissement des bandages sur le rail, dans les passages en courbes, est que le rapport des chemins parcourus en un temps donné par les deux

roues sur les rails soit celui même des développements des arcs de roulement correspondants ; d'où :

$$\frac{R+\frac{D}{2}}{R-\frac{D}{2}}=\frac{r+\alpha E}{r-\alpha E},$$

$$\alpha E=\frac{Dr}{2R}$$

$$E=\frac{1.050\times 0{,}50}{1/10\times 100^{m}}=0^{m}{,}0525.$$

$R = 100$ mètres,
$r = 0^{m},50$,
$D = 1^{m},050$,
$\alpha = 1/20$,
$2E =$ jeu total.

Avec la conicité de $\frac{1}{20}$, 52,5 millimètres est le jeu qu'il faudrait avoir entre la naissance des congés de chacun des boudins des roues de la machine en position normale et le rail, soit 105 millimètres de jeu total.

Pour les wagons et voitures, dont les roues ont $0^{m},35$ de rayon au roulement, le jeu total devrait être de $0^{m},072$. Or, le surécartement prévu dans les courbes exceptionnelles de 100 mètres de rayon étant de $0^{m},020$, le jeu total normal nécessaire, serait en voie droite de 52 millimètres pour les voitures et 85 millimètres pour les locomotives.

En pratique, ce jeu conduirait à l'adoption de bandages trop larges, rendrait la construction des croisements difficile, et enlèverait de la stabilité au roulement des trains ; il faudra se résigner à ne pas éviter complètement le glissement des bandages sur les rails dans les courbes voisines de 100 mètres.

Voici les conditions d'établissement que la commission propose d'adopter pour les bandages, en se tenant dans les limites ordinaires de la pratique :

Les bandages des essieux accouplés de la machine auront une largeur de 125 millimètres, leur écartement intérieur sera de $0^{m},92$, la cote utile à la sécurité, mesurée du congé d'un boudin au dehors du bandage opposé, sera de

1m,07 ; ce qui laissera tout le repos nécessaire pour le cas de surécartement de la voie, tel qu'il a été prévu dans la première partie du rapport.

En raison du peu d'empatement de la base rigide de la machine, qui n'a que 2m,17, il est possible de conserver au boudin de ses bandages extrêmes, une épaisseur de 0m,025 au point de frottement contre le champignon du rail, ce qui, avant usure des bandages, ne laissera qu'un jeu total de 0m,030 en ligne droite, et de 0m,050 en courbe de 100 mètres de rayon. Les bandages des roues de l'essieu du milieu auront une cote de calage de 925 millimètres; l'épaisseur de leurs boudins sera de 20 millimètres. Les bandages de roues du Bissel auront une cote de calage de 930 millimètres et une largeur de 120 millimètres avec boudins de 25 millimètres.

Après usure de 5 millimètres du congé, le jeu total maximum serait de 60 millimètres, en courbe de 100 mètres, c'est-à-dire encore un peu moindre que ce qu'il faudrait avoir pour éviter complètement le glissement.

Pour les voitures et wagons, pour lesquels un seul type d'essieu monté devra être étudié, l'écartement intérieur des bandages sera, de même que pour les machines, de 920 millimètres; les boudins des bandages auront également 0m,025 d'épaisseur au point de contact du congé avec le champignon du rail, leur largeur sera de 125 millimètres.

Le glissement ne commencera, pour les roues de locomotives que dans les courbes de 210 mètres de rayon avec les boudins neufs, et de 175 mètres avec les boudins usés de 5 millimètres, et, pour les roues des véhicules, que dans les courbes de 170 mètres, les boudins étant supposés neufs; pour 5 millimètres d'usure cette limite s'abaisse à 120 mètres; le train se trouvera donc dans de bonnes conditions de roulement.

Si l'on prend pour valeur de la conicité 1/17, le jeu théorique nécessaire se trouvera diminué dans le rapport

de 17 à 20, les dimensions arrêtées seront ainsi plus favorables et le rayon des courbes dans lesquelles les glissements seront à craindre, se trouvera abaissé dans le même rapport. L'adoption de la conicité de 1/17 sera donc favorable à la conservation du matériel.

Ceci admis, il est facile d'établir le profil des bandages dans l'un ou l'autre cas.

MATÉRIEL ROULANT (Pl. IX à XIII).

La sous-commission s'est inspirée, dans l'étude de l'avant-projet du matériel, voitures et wagons, des conditions générales d'établissement du matériel de Hermes-Beaumont.

Les principes qui lui ont servi de bases ont été :

1° De créer le nombre le plus restreint possible de types différents, tant pour les voitures à voyageurs que pour les wagons à marchandises, tout en satisfaisant aux nécessités de l'exploitation et aux conditions imposées par le souci d'une bonne utilisation du matériel ;

2° De permettre aux wagons à marchandises de porter un chargement de dix tonnes.

MATÉRIEL A VOYAGEURS (Pl. IX, X, XI et XIII).

Châssis. — *Données.* — Les données proposées par la sous-commission sont les suivantes :

Ecartement des essieux.	3 mètres.
Longueur totale des châssis.	6 —
Ecartement des rails.	1 —
Hauteur des appareils de choc au-dessus du rail.	0m,805
Hauteur de la traction au-dessus du rail.	0 ,655
Diamètre des roues.	0 ,700
Longueur des ressorts.	1 ,500

Construction du châssis. — Le châssis est tout en fer, avec traction continue centrale et tampon central. Il se compose de deux longerons formés de deux fers en U de $0^m,200$ de hauteur (Pl. IX, *fig.* 5, 6 et 7). Ces deux longerons sont entretoisés à leurs extrémités par deux autres fers en U, dont l'âme est renforcée par une tôle destinée à supporter le tampon de choc et le crochet d'attelage, et par deux tôles transversales découpées en forme de trapèze, armées de cornières, et qui servent en outre à transmettre, au châssis de la voiture, les efforts de traction, par l'intermédiaire de ressorts spirales placés au centre du châssis.

Ces tôles transversales, qui pourraient se cintrer sous l'influence d'un effort de traction un peu violent, sont réunies par deux longs boulons placés de chaque côté de la tige de traction.

Le châssis est complété par deux petits fers en U renversé, disposés dans toute la longueur et écartés de $0^m,410$ d'axe en axe, l'un de l'autre. Le grand rectangle ainsi formé par les deux longerons et les traverses extrêmes est triangulé en ses sommets par des tôles triangulaires rivées sur les ailes supérieures des fers en U.

Choc. — L'appareil de choc est formé par un tampon à plateau en forme d'écusson cintré et échancré à la partie inférieure. La tige est guidée dans un boisseau en fonte et porte un ressort-spirale. Ce ressort est épaulé contre une tôle transversale qui reçoit ainsi tout le choc; cette tôle est maintenue à ses extrémités par de fortes cornières rivées sur une des ailes des petits fers en U renversés longitudinaux, et au-dessous par deux fers en U obliques qui viennent reporter une partie du choc sur les deux longerons du châssis.

Traction. — La traction est continue, c'est-à-dire formée d'une tige rigide dans toute la longueur du châssis. Le

châssis peut se déplacer par rapport à cette tige en comprimant l'un des deux ressorts-spirales : ces ressorts sont retenus d'un côté par des écrous vissés sur la tige de traction, et d'autre part appuyés sur les deux tôles transversales qui forment entretoises du châssis. Pour le montage, la tige de traction est en réalité formée de deux tiges de même longueur et semblables réunies à leur extrémités, au milieu du châssis, par un fort écrou double ou manchon fileté. Le jeu des ressorts-spirales sert à régler celui qui doit exister entre la traverse de tête et l'épaulement du crochet de traction au repos. Le type du châssis de la voiture mixte de Ire et IIe classe n'aura que 5m,50 de longueur; c'est le type du châssis des wagons.

Détails et particularités. — Les roues seront à rayons en fer forgé ; le diamètre au roulement du bandage sera de 0m,700.

Les essieux auront 0m,110 de diamètre au corps ; les fusées, suivant le calcul, auront 0m,080 de diamètre et 0m,150 de longueur.

Ces dimensions, un peu trop fortes pour les voitures, sont celles qui conviennent aux wagons chargés à 10 tonnes.

Caisses. — La sous-commission a pensé qu'il n'y avait pas lieu, pour le chemin de fer de Corse, de renoncer au type ordinaire des caisses de voitures à voyageurs. Elle a donc étudié le type de voitures à compartiments séparés, avec répartition en trois classes.

Elle présente quatre dessins de voitures à voyageurs du type ordinaire.

1° La *voiture de* IIIe *classe* à 32 places, relativement spacieuse, sans cloisons séparatives (Pl. X, *fig.* 5 et 6).

Les caisses auront dans l'axe, à l'intérieur, 1m,95 de hauteur, et à l'extérieur 2m,08 au moins ; ce qui permet l'établissement d'un double toit nécessaire dans les pays

chauds. Les portières seront à ventilateurs, et les panneaux extérieurs des voitures seront droits et sans gondolement; à l'intérieur, les banquettes seront lattées, à dossier renversé. Un compartiment pourra être isolé pour dames seules.

2° *Voiture mixte à frein, de* Ire, IIe *et* IIIe *classe*. La voiture peut contenir 22 personnes, plus le garde-frein dans un coupé de service (Pl. X, *fig.* 9 et 10).

Même hauteur que la voiture précédente, même construction extérieure de la caisse. Baies de fenêtres et portières à ventilateur ; double toit.

3° *Voiture mixte de* Ire et IIe *classe*, le compartiment de Ire classe placé entre les deux compartiments de IIe classe (Pl. X, *fig.* 7 et 8).

Cette voiture n'aura qu'un châssis de 5m,50, à moins que le compartiment de Ire classe ne soit élargi de 0m,50, pour devenir un petit salon.

4° *Fourgons* de 6 mètres de longueur, avec compartiment destiné au conducteur, d'un côté, et un compartiment de IIe classe réservé à la poste, de l'autre (Pl. X, *fig.* 3 et 4).

Le poids de ces voitures variera de 5.500 à 5.800 kilog. environ. Le fourgon pourra peser 6.000 kilogr.

Nous traiterons plus loin, et à part, la question des freins.

La sous-commission recommande donc, pour la Corse, l'emploi du matériel à voyageurs à compartiments séparés, sur châssis ordinaire. Toutefois, il est possible que l'exploitation des lignes corses démontre ultérieurement la convenance ou l'utilité d'employer des voitures à couloir. Les caisses de ces voitures pourront s'adapter facilement sur des châssis de même construction, mais d'une longueur totale un peu plus grande. Elles s'adapteront encore mieux sur des châssis à trains articulés, que plusieurs membres de la sous-commission étaient disposés à recommander comme

présentant, malgré certains inconvénients, des avantages réels au point de vue de la stabilité, quand il s'agit de parcourir des voies à courbes très raides et répétées. A titre de renseignement, la sous-commission a annexé également quelques croquis de types de voitures diverses, qui pourraient répondre à des besoins spéciaux d'exploitation qu'elle n'a pas pu prévoir (Pl. XI et Pl. XII, *fig.* 7 à 10).

MATÉRIEL A MARCHANDISES (Pl. XII).

Châssis. — Le châssis du matériel à marchandises n'aura que 5m,50 de longueur ; il sera, d'ailleurs, en tout semblable au châssis des voitures à voyageurs. Les ressorts n'auront que 1 mètre ; l'entr'axe des roues ne sera que de 2m,60 ; les roues seront à rayons en fer forgé.

Types proposés. — Les types que la sous-commission croit devoir recommander sont de trois espèces :

1° *Wagon couvert à marchandises à volets mobiles* Pl. XII (*fig.* 5 et 6), de même hauteur que les voitures (2m,08 extérieur dans l'axe) dans le genre des wagons de Hermes-Beaumont :

Chargement : 10 tonnes,
Tare : 5 tonnes environ.

2° *Wagon-tombereau à 10 tonnes* avec haussettes postiches (type de Hermes-Beaumont) et portes latérales, Pl. XII (*fig.* 3 et 4).

Chargement : 10 tonnes,
Tare : 4.000 kilog. sans haussettes ;
— : 4.300 — avec haussettes.

3° *Wagon-plate-forme* à côtés tombants, Pl. XII (*fig.* 1 et 2).

Chargement : 10 tonnes,
Tare : 3t,100 environ.

Quelques plate-formes recevront des traverses pour les pierres, et quelques autres seront à bouts tombants, avec traverse pivotante, pour le transport des bois longs.

Freins. — Sur un réseau qui présente des déclivités allant jusqu'à $0^m,030$, il est nécessaire de se préoccuper de la question des freins.

Les fourgons et les voitures mixtes des trois classes auront des freins à vis.

Le tiers du matériel wagons devra recevoir des freins à vis et tout le reste des freins à main.

Le choix d'un système de frein n'est pas indifférent. La Compagnie de Hermes-Beaumont s'est bien trouvée de l'emploi du frein à coins de Stilmant, qui est en même temps simple et puissant, et qu'elle a combiné avec le système continu à vide Smith-Hardy, à double conduite. Toutes les voitures à voyageurs ont reçu un appareil de serrage actionné par le mécanicien. Les wagons n'ont que des conduites et des tuyaux de raccordement sans appareil de serrage. Les trains sont composés, en tête, des wagons et, en queue, des voitures à frein. Le serrage des freins de queue s'opère par appel d'air à travers les conduites portées par les wagons de tête. Le service de l'exploitation de Hermes-Beaumont est satisfait de cette disposition.

La sous-commission s'est demandé s'il fallait également recommander les freins continus pour le matériel de la Corse. Il est certain que l'usage des freins continus est absolument justifié par certaines conditions spéciales de l'établissement de la ligne et de l'exploitation, parmi lesquelles nous citerons : la longueur et la fréquence des pentes ; un tracé accidenté limitant, par des tranchées, des courbes et des contre-courbes de petit rayon, la visibilité en avant des trains ; enfin la nécessité d'employer un personnel restreint et relativement peu expérimenté.

Après un mûr examen, elle a pensé qu'il conviendrait d'appliquer en Corse le frein qui a donné de bons résultats sur la ligne de Hermes-Beaumont; seulement elle en a borné l'application aux voitures à voyageurs, le montage immédiat de freins semblables ou même de tuyaux aux wagons à marchandises étant toujours facile si les conditions de l'exploitation le rendent nécessaire.

Paris, le 10 mai 1881.

Le Rapporteur,
D. BANDERALI.

Le Président,
E. MARIÉ.

ANNEXE N° 1

CALCUL DES CHARGES QUE LES MACHINES PROJETÉES POUR LES CHEMINS DE FER CORSES PEUVENT REMORQUER SUR DES RAMPES CONTINUES DE DIFFÉRENTES INCLINAISONS, A DES VITESSES DIVERSES DÉTERMINÉES PAR LES FORMULES CI-APRÈS, EMPLOYÉES DEPUIS 1863 PAR LA COMPAGNIE PARIS-LYON-MÉDITERRANÉE.

Soient :

Le poids total, en tonnes, de la machine en charge.	$P = 28^t,500$
Le poids adhérent, en tonnes, pour la machine, sans eau ni combustible dans les soutes.	$P' = 20^t,000$
Surface de chauffe totale (en mètres carrés).	$C = 58^{m2},350$
Surface de grille (en mètres carrés).	$g = 1^{m2},076$
Poids d'eau vaporisée (en kilogrammes) par heure, y compris l'eau entraînée.	V
Diamètre du piston (en mètres).	$d = 0^m,350$
Course des pistons (en mètres).	$l = 0^m,460$
Espace nuisible à chaque bout des cylindres, exprimé en longueur de course.	$\lambda = 0,015$
Diamètre des roues motrices (en mètres).	$D = 1^m,000$
Timbre de la chaudière; pression effective (en kilogrammes par centimètre carré).	$t = 10^k,000$
Pression absolue de la vapeur dans la chaudière. . .	$p = 11^k,030$
Pression atmosphérique.	$p' = 1^k,030$

Pression absolue de la vapeur dans les cylindres en marche, en supposant une perte d'une atmosphère ($1^k,03$).	$p'' = 10^k,000$
Poids du mètre cube de vapeur dans les cylindres à la pression réduite à $10^k,000$ d'après Zeuner. . . .	$\delta = 5^k,266$
Vitesse de la machine (en kilomètres par heure), en supposant que, par une distribution spéciale, on ait pleine admission pendant toute la course. . .	u
Vitesse du train (en kilomètres par heure).	v
Résistance, en kilogrammes, du mécanisme de la machine, non compris son poids comme véhicule.	R
Déclivité de la rampe (en millimètres de hauteur pour un mètre de base) ou résistance due à la gravité	i
Résistance due aux courbes (en kilogrammes) par tonne de train, machine et tender compris. . . .	s
Rayon de la courbe (en mètres).	ρ
Nombre des voitures du train.	n
Résistance à la traction sur niveau et ligne droite (en kilogrammes, par tonne du train), machine et tender compris	r
Effort de la machine (en kilogrammes) résultant de l'action de la vapeur estimée tangentiellement aux roues motrices et comprenant la résistance du mécanisme.	F
Effort de la vapeur tangentiellement aux roues motrices, disponible pour la traction du train et de la machine elle-même (en kilogrammes).	F-R
Poids (en tonnes) que la machine peut remorquer avec l'effort F-R.	Q
Limite du poids Q donnée par l'adhérence.	lim. Q

Les formules employées pour calculer les charges sont indiquées ci-après :

Limites des charges par l'adhérence : lim. Q. — Nous admettons 0,14 pour le coefficient de frottement des bandages sur les rails en beau temps par bon rail.

L'adhérence est 0,14 . P'.

La résistance du train doit être, au maximum, égale à l'adhé-

rence; d'où $(\text{lim. } Q + P)(i + s + r) = 0{,}14\ P'$.

(1) $$\text{lim. } Q = \frac{0{,}14 . P'}{i + s + r} - P$$

Ce qui donne pour la machine corse

$$\text{lim. } Q = \frac{2^t{,}800}{i + s + r} - 28^t{,}500$$

Vaporisation d'eau par heure : V. — La vaporisation d'eau par heure dépend de la surface de grille et de la surface de chauffe ; elle est exprimée par la formule

(2) $$V = 368\sqrt{cg}$$

Ce qui donne pour la machine corse :

$$V = 2.916 \text{ kilog.}$$

Vitesse de marche à pleine admission : *u*. — Le nombre de tours de roues par heure à la vitesse u est

$$\frac{10^3 u}{\pi D}$$

Le poids de vapeur dépensé par heure

$$\frac{10^3 u}{\pi D} 4\pi \frac{d^2}{4}(l + \lambda)\,\delta = \frac{10^3 u\, d^2\,(l + \lambda)\,\delta}{D}$$

d'où

(3) $$\frac{10^3 u d^2 (l + \lambda)\delta}{D} = V$$

$$u = \frac{VD}{10^3 d^2 (l + \lambda)\,\delta}$$

Ce qui donne pour la machine corse

$$u = 9^{\text{kilom}}{,}516$$

Effort tangentiel à la vitesse *v* : F. — L'effort tangentiel, à la vitesse v, y compris la résistance du mécanisme de la machine, est égal au travail moteur du piston moins la contre-pression derrière le piston.

Pour un tour complet de roues motrices, on a :

Travail moteur de l'effort tangentiel

$$F\pi D$$

Travail moteur du piston pour une admission x :

$$4\pi\frac{d^2}{4}10^4px\left(1+2{,}303\log\frac{l}{x}\right)$$

Contre-pression due à la pression atmosphérique

$$4\pi\frac{d^2}{4}10^4p'l$$

d'où

$$F\pi D=10^4p\pi d^2x\left(1+2{,}303\log\frac{l}{x}-\frac{p'}{p}\cdot\frac{l}{x}\right)$$

d'où

$$F=\frac{10^4pd^2x}{D}\left(1+2{,}303\log\frac{l}{x}-\frac{p'}{p}\frac{l}{x}\right)$$

Or, la quantité de vapeur admise par tour est inversement proportionnelle au nombre des tours par heure ou aux vitesses

$$\frac{l}{x}=\frac{v}{u}$$

d'où

$$x=\frac{u}{v}l$$

Pour tenir compte des pertes diverses, condensations, compressions, etc., il faut multiplier F par un coefficient de réduction, qui, dans les conditions admises précédemment, doit être égal à 0,70.

Introduisant dans F les valeurs de : x, $\frac{l}{x}$, et le coefficient 0,70, on a enfin

(4) $$F=0{,}7\frac{10^4pd^2l}{D}\left[\frac{u}{v}\left(1+2{,}303\log\frac{v}{u}\right)-\frac{p'}{p}\right]$$

Dans cette valeur, tous les facteurs sont connus; donc F peut être déterminé numériquement pour chaque point, c'est-à-dire pour une rampe, une courbe et une vitesse données.

Cette valeur de F devient pour la machine corse :

$$F=4{,}350\left[\frac{u}{v}\left(1+2{,}303\log\frac{v}{u}\right)-\frac{1{,}03}{p}\right]$$

Charge Q que la machine peut remorquer d'après le travail de la vapeur. — En retranchant de F la résistance R du mécanisme de la machine, on obtient l'effort disponible pour remorquer le poids Q + P du train et de la machine.

La résistance opposée par le poids Q + P est

$$(Q+P)(i+s+r)$$

On a donc

$$F-R=(Q+P)(i+s+r)$$

d'où

(5) $$Q=\frac{F-R}{i+s+r}-P$$

ce qui donne pour la machine corse

$$Q=\frac{F-R}{i+s+r}-28^{t},500$$

Résistance. — Ainsi que nous l'avons vu, F peut être déterminé dans chaque cas. Il reste, pour connaître Q, à déterminer les valeurs de R, i, s, r ; c'est ce que nous allons faire.

Résistance du mécanisme : R. — La résistance du mécanisme peut être considérée comme proportionnelle au poids adhérent. L'expérience nous a conduits à la formule

(6) $$R=0{,}015P'$$

ce qui donne pour la machine corse

$$R=0{,}015\times 20 \text{ tonnes}=300 \text{ kilog.}$$

Résistance due à la déclivité : i. — La déclivité étant i millimètres pour 1 mètre de base, la résistance due à la gravité est

(7) i kilogrammes par tonne du poids Q + P comprenant le poids du train et celui de la machine.

Résistance des courbes : s. — La résistance d'une courbe dépend du rayon ρ de la courbe et de la longueur du train ou du nombre n des véhicules.

La formule suivante, vérifiée par l'expérience, donne assez exactement la valeur de s en fonction de ρ et de n

(8) $$s=\frac{1125+25n}{2\rho}$$

Dans cette formule s est exprimé en kilogrammes pour une tonne du poids (Q + P).

On réunit ordinairement la valeur de s à celle de i pour donner en un seul chiffre la résistance en chaque point due à la déclivité et à la courbe.

Résistance due à la vitesse : r. — Les résistances au mouvement dues à l'air, aux frottements des coussinets, au roulement des bandages, aux chocs, etc., varient avec la vitesse et sont exprimées assez exactement par la formule

$$r = 1{,}5 + 0{,}1v \tag{9}$$

dans laquelle r est exprimé en kilogrammes pour une tonne du poids (Q + P).

Valeur numérique de Q et (lim Q). — R, i, s, et r étant déterminés par les formules précédentes pour des pentes, des courbes et des vitesses quelconques, Q sera déterminé dans les mêmes conditions de généralité pour la formule (5).

Dans chaque cas, lorsque les valeurs de Q, déterminées comme il vient d'être dit, seront supérieures aux valeurs (lim. Q) résultant de l'adérence, formule (1), il faudra toujours prendre (lim. Q) pour le poids à remorquer.

Les charges Q ou (lim. Q) ci-dessus déterminées correspondent au beau temps et au bon rail; en cas de mauvais temps ou de mauvais rail, il faudra faire des réductions.

A l'aide des données et des formules qui précèdent, nous avons calculé les charges que la machine projetée pour les chemins corses pourra remorquer sur des pentes continues de diverses inclinaisons, en courbe de divers rayons et à des vitesses variables par beau temps et bon rail.

Ces charges sont indiquées sur le tableau suivant, dans lequel on a représenté par un seul chiffre la somme des résistances afférentes à la déclivité et aux courbes.

RAMPES continues en millimètres, y compris la résistance de la courbe.	VITESSES EN KILOMÈTRES.							
	10	15	20	25	30	35	40	45
0,00	904	819	748	608	483	382	306	248
2,50	480	453	430	363	297	243	200	165
5,00	321	308	296	254	210	174	145	121
7,50	237	230	223	192	160	133	111	93
10,00	186	181	176	153	127	106	88	73
15,00	126	124	121	105	87	72	59	49
20,00	92	91	89	77	63	51	42	34
25,00	71	69	68	58	47	38	30	23
30,00	55	55	54	45	36	28	22	16
35,00	44	44	43	36	28	21	15	11

Les trois premières colonnes de ce tableau indiquent les charges limites données par l'adhérence, qui sont inférieures aux charges correspondant au travail de la vapeur ; les cinq dernières indiquent les charges correspondant au travail de la vapeur.

M. Ledoux a calculé les charges en employant des formules différentes, plus exactes peut-être, mais un peu plus compliquées.

On trouvera sur la Pl. XII, *fig.* 11, le tracé graphique des charges trouvées par les deux calculs; ces charges sont presque identiques.

Paris, le 17 mai 1881.

Signé : MARIÉ.

ANNEXE N° 2

NOTE SUR LE CALCUL DES CHARGES DE LA LOCOMOTIVE PROPOSÉE POUR LES CHEMINS DE FER CORSES.

La charge qu'une machine peut remorquer est fonction de trois éléments : le travail que la vapeur développe sur les pistons ou travail *indiqué* par mètre parcouru ; la résistance du mécanisme ; la résistance au roulement du train (y compris la machine et son tender), laquelle dépend de la vitesse et de l'inclinaison de la voie.

Si l'on appelle T le travail de la vapeur sur les pistons, par mètre parcouru ;

R la résistance du mécanisme ;

r la résistance par tonne au roulement correspondant à la vitesse du train ;

m l'inclinaison de la voie exprimée en millimètres par mètre ;

Q le poids total de la machine, Q' le poids adhérent, Q'' le poids du tender, C la charge que la machine pourra remorquer, on aura

$$C = \frac{T - R}{r + m} - (Q + Q'')$$

Mais la charge C ne pourra être atteinte qu'à la condition que l'effort tangentiel à la circonférence des roues, ou $T - R - Q'r$, soit inférieur à l'adhérence $Q' \frac{1}{n}$. Il faut donc que C satisfasse à la condition

$$C \overline{\gtrless} \frac{Q'\left(\frac{1}{n} + r\right)}{r + m} - (Q + Q'')$$

$\frac{1}{n}$ étant le coefficient d'adhérence.

D'après les expériences de MM. Vuillemin, Guébhard et Dieudonné, ce coefficient varie de $\frac{1}{5}$ à $\frac{1}{9}$ et même $\frac{1}{11}$. Sur le réseau de Lyon, on admet le chiffre de 0,14, que nous adopterons.

Pour une machine donnée, le travail effectué par la vapeur sur les pistons, pendant que la machine parcourt une distance de 1 mètre, dépend de la longueur de l'admission ; grâce à la distribution par coulisse, le mécanicien peut faire varier cette longueur depuis 7 à 8 p. 100 jusqu'à 75 p. 100 environ.

La dépense de vapeur varie nécessairement avec la longueur de l'admission, et on verra tout à l'heure qu'elle lui est sensiblement proportionnelle.

La vitesse que la machine peut atteindre est proportionnelle à la production de vapeur de la chaudière et en raison inverse de l'admission. Si donc on connaît la production de vapeur par heure ou la puissance de vaporisation de la chaudière, ainsi que la consommation de vapeur de la machine par kilomètre parcouru pour une certaine longueur de l'admission, on aura une relation qui permettra de calculer cette longueur en fonction de la vitesse, et réciproquement ayant la longueur de l'admission, on en déduit le

travail T sur les pistons, et par suite la charge remorquée C correspondante.

Cette manière d'opérer est la seule qui soit rationnelle et qui permette de calculer, avec une approximation sérieuse, les charges que les machines peuvent remorquer aux différentes vitesses. Elle est en usage depuis de longues années sur le réseau de Lyon, où elle a permis d'utiliser toute la puissance des machines, principalement des machines à marchandises dont les charges dépassent souvent de 30 p. 100 celles qui sont admises pour les mêmes types sur les autres réseaux.

Le calcul des charges qu'une machine peut remorquer à des vitesses données comporte donc trois déterminations principales :

1° Celle de la quantité de la vapeur fournie par la chaudière en une heure ;

2° Celle de la quantité de vapeur dépensée par kilomètre parcouru à une vitesse déterminée;

3° Celle du travail indiqué et du travail disponible de la vapeur par mètre parcouru.

Les formules que nous allons établir diffèrent notablement de celles que M. Marié a adoptées pour le calcul des charges des machines du réseau de Lyon. Elles sont moins simples que ces dernières, mais nous croyons qu'elles donnent des résultats plus approchés de la vérité, au moins quand il s'agit d'une machine non encore mise en service. En effet, les coefficients pratiques qui entrent dans les formules de la Méditerranée ont été déterminés, dans chaque cas particulier et pour chaque type de machines, d'après les résultats de l'expérience. Mais ces déterminations, qui sont le complément nécessaire du mode de calcul adopté, ne sauraient être faites pour une machine en projet.

I. — Quantité de vapeur fournie par la chaudière.

Sur la plupart des réseaux français, on admet que la production de vapeur des chaudières locomotives augmente avec la vitesse. Cette idée peu rationnelle, et fondée sur des observations imparfaites, a été combattue par MM. Marié et Couche. M. Marié a calculé les charges de ses machines en admettant une production constante de vapeur par heure, quelle que fût la vitesse, et comme ces charges sont pratiquement remorquées tous les jours, il y a là une preuve certaine de la justesse de ses vues. Les nombreuses observations qu'il a faites sur cette questions l'ont amené à reconnaître que la production de vapeur ne dépend que de la surface de

la grille et de la surface de chauffe, et que la quantité totale d'eau vaporisée ou entraînée par heure est représentée par la formule

$$V = 368\sqrt{gs}$$

g surface de la grille ;

s surface de chauffe totale en mètres carrés.

Le nombre V représente la quantité totale d'eau qui sort de la chaudière par heure, soit à l'état de vapeur, soit à l'état d'eau entraînée avec la vapeur.

Les belles expériences de MM. Leloutre et Hallauer ont montré que dans les chaudières fixes la quantité d'eau entraînée avec la vapeur est de 4 à 6 p. 100 du poids total.

Aucune expérience de ce genre n'a été faite sur les locomotives, où l'entraînement est certainement beaucoup plus considérable à cause de l'activité de la vaporisation sur une petite surface.

Dans leurs expériences sur le réseau de l'Est, MM. Vuillemin, Guebhard et Dieudonné ont mesuré la quantité d'eau consommée sur un parcours déterminé et calculé le poids de vapeur dépensé d'après le volume parcouru par les pistons pendant l'admission, et ils ont trouvé que le rapport entre ces deux quantités était de 1,31 pour une machine à trois essieux couplés consommant seulement 29 kilogrammes d'eau par heure et par mètre carré de surface de chauffe. La quantité de vapeur qui se condense sur les parois des cylindres, pendant l'admission, étant égale à 18 ou 20 p. 100 du poids de la vapeur sensible, c'est-à-dire de celle qui remplit le cylindre pendant la période d'admission, il resterait donc, pour l'eau entraînée, 12 p. 100 du poids de vapeur sensible, soit 9 p. 100 du poids total de vapeur et d'eau.

Mais la vaporisation de cette chaudière était faible, et l'entraînement d'eau doit être notablement plus fort quand la vaporisation est poussée avec toute l'activité dont elle est susceptible, comme sur les machines du Lyon, dont la consommation atteint normalement 40 kilogrammes par heure et par mètre carré de surface de chauffe. Je crois donc que l'on peut adopter le chiffre de 12 p. 100.

La quantité de vapeur réellement produite par heure serait donc représentée par la formule

$$(1) \qquad V = 0,88 \times 368\sqrt{gs} = 324\sqrt{gs}$$

II. — Consommation de vapeur par kilomètre parcouru.

Le poids de la vapeur dépensée par kilomètre parcouru se déduit facilement de la consommation par coup de piston. Si l'on appelle Π la première quantité, Π' la seconde, D le diamètre des roues motrices, on a

$$\Pi = \frac{4000\,\Pi'}{D}$$

Le poids de la vapeur dépensée par coup de piston est égal :

1° Au poids de vapeur présent dans le cylindre à la fin de la période d'admission, moins le poids de la vapeur qui remplissait l'espace nuisible à la fin de la période de compression; c'est ce qu'on a nommé le poids de vapeur sensible;

2° Au poids de la vapeur qui s'est condensée sur les parois du cylindre pendant l'admission.

Dans un travail que j'ai publié en 1877 dans les *Annales des mines*, sous le titre : *De la condensation de la vapeur à l'intérieur des cylindres des machines*, j'ai donné une méthode qui permet de déterminer très exactement, d'après la forme du diagramme relevé à l'indicateur, le poids de vapeur réellement fourni par la chaudière pendant l'admission. En me servant des résultats que j'ai consignés dans ce mémoire, j'ai trouvé qu'on pourrait représenter, avec une assez grande approximation, la consommation de vapeur par coup de piston par la formule empirique

$$(2) \qquad \Pi' = 0{,}3\pi\,(d^2 - d'^2)\,Lx\,(1 + 0{,}53\lambda)\Delta;$$

d diamètre du cylindre,

d' diamètre de la tige du piston ou de la fausse tige quand elle existe,

L course du piston,

x fraction de la course pendant laquelle a lieu l'admission,

λ rapport du volume de l'espace nuisible au volume total décrit par le piston,

Δ densité de la vapeur à la pression d'admission.

On aura donc

$$\Pi = \frac{1200\,(d^2 - d'^2)\,Lx\,(1 + 0{,}53\lambda)\,\Delta}{D}$$

La vitesse que la machine pourra soutenir, exprimée en kilo-

mètres par heure, sera

$$(3) \qquad u = \frac{V}{\Pi} = \frac{324\,D\sqrt{gs}}{1200\,(d^2 - d'^2)\,Lx\,(1 + 0{,}53\lambda)\Delta}.$$

L'admission x correspondant à une vitesse donnée u, sera

$$(4) \qquad x = \frac{324\,D\sqrt{gs}}{1200\,(d^2 - d'^2)\,Lu\,(1 + 0{,}53\lambda)\,\Delta}$$

III. — Travail de la vapeur par mètre parcouru.

Si l'on désigne par $\mathfrak{T}$ le travail de la vapeur par coup de piston, on aura le travail T, développé par mètre parcouru, au moyen de la relation

$$T = \frac{4\mathfrak{T}}{\pi D}$$

Il s'agit donc de déterminer T en fonction de x, qui est connu par l'équation (4).

Il entre, dans l'évaluation du travail, une foule d'éléments qui dépendent des dimensions respectives des lumières et du cylindre, du réglage de la distribution, de la longueur relative des périodes de détente, d'échappement anticipé, de compression, etc. Quand on marche à grande vitesse, c'est-à-dire avec une grande détente, la longueur des périodes d'échappement anticipé et de compression augmente beaucoup. Elle diminue au contraire aux faibles vitesses correspondant aux grandes admissions.

J'ai déterminé, sur un assez grand nombre de diagrammes relevés à l'indicateur, le travail réel développé sur le piston de plusieurs machines, et je me suis servi de ces résultats pour fixer les coefficients de la formule suivante, qui est exacte à 5 ou 6 p. 100 près, approximation bien suffisante dans les calculs de ce genre :

$$(5) \quad \left\{ \begin{aligned} &\mathfrak{T} = 2300\,\pi(d^2 - d'^2)LP' \times \\ &\quad \times \left[x + (x+\lambda)\,2{,}303 \log \frac{1+\lambda}{x+\lambda} - \frac{1{,}0334}{P'}(1{,}60 - 0{,}75x) \right]. \end{aligned} \right.$$

P' pression *absolue* dans le cylindre pendant l'admission, exprimée en kilogrammes par centimètre carré.

Cette formule tient compte de l'effet de l'espace nuisible pendant la détente et de l'augmentation que subit la contre-pression à mesure que l'admission diminue et que, par suite, la période de compression augmente.

Pour montrer dans quelles mesures les formules (2) et (5) peu-

vent inspirer confiance, je donne ici les résultats de la vérification des diagrammes et du calcul pour sept cas différents relevés sur trois machines du chemin de fer d'Orléans. Les consommations de vapeur ont été déterminées avec le plus grand soin, par la méthode indiquée dans mon mémoire précité.

ADMISSIONS pour 100 de la course.	POIDS DE VAPEUR consommé par coup de piston		TRAVAIL par coup de piston (kilogrammètres)		DIFFÉRENCE p. 100.
	réel.	calculé par la formule (2).	mesuré sur le diagramme.	calculé par la formule (5).	
Machine n° 852.	kil.	kil.			
12,3	0,064	0,061	1573	1681	+6,8
18,6	0,093	0,093	2505	2402	−4,0
22,6	0,113	0,117	3022	3122	+3,3
29,2	0,146	0,148	3565	3536	−0,8
36,2	0,211	0,200	4576	4460	−2,5
Machine n° 1201.					
32,4	»	»	5049	5145	+1,8
Machine n° 1108.					
49,0	»	»	7181	7193	+0,2

La pression d'admission P′ est un peu différente de la pression dans la chaudière. Les nombreux diagrammes que j'ai eus entre les mains montrent que la chute de pression entre la chaudière et les cylindres varie de 1/4 à 1 kilogramme; on peut estimer qu'elle est d'environ 1/2 kilogramme pour les admissions moyennes. Si donc P est le numéro du timbre de la chaudière, la pression absolue dans la chaudière est P + 1,03 et la pression d'admission P′ sera égale à P + 0,5.

La formule (5) devient ainsi

$$\mathfrak{T} = 2300\pi(d^2 - d'^2)L(P + 0,5) \times \left[x + (x+\lambda)\,2,303\log\frac{1+\lambda}{x+\lambda} - \frac{1,0334}{P+0,5}(1,60 - 0,75x)\right]$$

Le travail brut par mètre parcouru, T, étant égal à $\frac{4\mathfrak{T}}{\pi D}$ on a

$$(6)\quad \begin{cases} T = \dfrac{9200(d^2 - d'^2)L(P+0,5)}{D} \times \\ \times\left[x + (x+\lambda)\,2,303\log\dfrac{1+\lambda}{x+\lambda} - \dfrac{1,0334}{P+0,5}(1,60 - 0,75x)\right]\end{cases}$$

La résistance du mécanisme R est, d'après les expériences du chemin de fer de l'Est, de 10 kilogrammes par tonne du poids qui pèse sur les roues motrices ou accouplées.

On a maintenant tous les éléments nécessaires pour le calcul des charges d'une machine, sauf la résistance au roulement que nous avons nommée r. Nous avons pris les chiffres suivants, qui sont admis sur le réseau de la Méditerranée pour représenter la résistance au roulement sur palier aux différentes vitesses :

VITESSES en kilomètres par heure.	RÉSISTANCES au roulement r.
10	3,0
15	3,3
20	3,6
25	4,0
30	4,4
35	4,9
40	5,4

IV. — Application des formules précédentes au calcul des charges de la locomotive des chemins corses.

La surface de chauffe, $s = 58$ mètres carrés.

La surface de grille, $g = 1^{m2},08$.

La formule (1) donne $V = 324\sqrt{58 \cdot 1,08} = 2553$ ou 44 kilog. par mètre carré de surface de chauffe.

On a d'ailleurs $d = 0,35$, $d' = 0,05$, $L = 0,46$.

Pour un côté du piston $d^2L = 0,0563$.

Pour l'autre côté $(d^2 - d'^2)\,L = 0,0552$ (il n'y a pas de fausse tige).

La moyenne est 0,0558.

$\theta = 1$.

$\lambda = 0,065$.

Le numéro du timbre, $P = 10$. La pression absolue d'admission est donc 10,5. La densité correspondante, $\Delta = 5,35$ (d'après Zeuner).

L'équation (3) donne

$$x = \frac{2553}{1200 \cdot 0,0558 \cdot 1,034 \cdot 5,35\,u} = \frac{6,9}{u}.$$

Pour les vitesses de 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 kilom., on aura

$$x = 0,69,\ 0,46,\ 0,345,\ 0,276,\ 0,23,\ 0,197,\ 0,172.$$

L'équation (6) devient, toutes réductions opérées

$$T = 5390 \left[1,0735\,x + (x+0,065)\,2,303 \log \frac{1,065}{x+0,065} - 0,1550\right].$$

Remplaçant x par les valeurs indiquées ci-dessus, on aura les valeurs de T correspondant aux vitesses de 10 à 40 kilom.

Le poids moyen sur les roues accouplées est de $22^{t},700$. La résistance du mécanisme $R = 227$ kilog.

En divisant les nombres obtenus pour $T - R$ par les résistances r, aux vitesses correspondantes, on aura les charges brutes remorquées sur palier, et les charges nettes en retranchant des charges brutes le poids maximum de la machine 28 tonnes.

$$C = \frac{T-R}{r} - 28$$

Pour avoir les charges brutes sur une rampe de m millimètres par mètre, il faut diviser $T - R$ par $r + m$; d'où, pour les charges nettes :

(7) $$C = \frac{T-R}{r+m} - 28$$

Quand les approvisionnements d'eau et de charbon sont épuisés, le poids de la machine est réduit à 24 tonnes, et le poids qui pèse sur les roues accouplées est de 20 tonnes. L'adhérence minimum est donc de 0,14.20000 ou 2800 kilog. Ce chiffre de 2800 est l'effort tangentiel maximum que la machine pourra développer à la circonférence des roues accouplées, dans le cas le plus défavorable.

Le travail utile correspondant de la vapeur est $2800 + 20r$, la charge correspondante sera

(8) $$C = \frac{2800 + 20r}{r+m} - 24$$

Des deux valeurs de C, données par les équations (7) et (8), on devra prendre toujours la plus petite.

En effectuant les calculs, on a formé le tableau suivant :

VITESSES en kilomètres par heure u.	ADMISSIONS x.	EFFORTS de traction T — R.	RÉSISTANCES par tonne de train sur palier r en kilogrammes.	CHARGES EN TONNES remorquées sur des rampes de						
				0	5	10	15	20	25	30
10	0,690	4312	3,0	929	333	196	134	100	78	63
15	0,460	3578	3,3	844	321	191	132	99	77	62
20	0,345	3028	3,6	774	310	187	130	98	76	61
25	0,276	2602	4,0	622	261	157	109	80	61	49
30	0,230	2285	4,4	491	215	130	84	66	49	38
35	0,197	2058	4,9	392	180	110	75	54	40	31
40	0,172	1826	5,4	310	148	94	62	44	34	23

Paris, le 14 avril 1881.

Signé : LEDOUX.

QUATRIÈME PARTIE.

DISPOSITIONS DES VOIES ET BATIMENTS DES STATIONS. SIGNAUX.

M. l'ingénieur Sampité, chargé, à la résidence de Bastia, de la construction des chemins de fer de la Corse, a reçu de M. le Ministre des travaux publics une mission à l'effet d'étudier les aménagements de la ligne à voie étroite de Hermes à Beaumont et quelques autres lignes et de recueillir les renseignements qui devaient lui servir à faire des propositions pour l'aménagement des stations des chemins corses.

Le rapport de cet ingénieur ayant été renvoyé par M. le Ministre des travaux publics à l'examen du Comité technique de l'exploitation des chemins de fer, la sous-commission, précédemment désignée pour déterminer les conditions d'établissement du matériel fixe et du matériel roulant des chemins de fer de la Corse, a été chargée de com-

pléter ses premières études et de formuler des conclusions définitives sur les propositions de cet ingénieur.

Après avoir examiné attentivement le rapport détaillé et très consciencieusement étudié de l'ingénieur Sampité, la sous-commission a passé à la discussion des diverses questions et adopté les conclusions suivantes sur les trois points soumis à son examen, c'est-à-dire :

I. — Sur les dispositions des voies, des gares et stations;

II. — Sur l'aménagement des bâtiments;

III. — Sur l'organisation des signaux destinés à garantir la sécurité.

I

DISPOSITION DES VOIES, DES GARES ET STATIONS.

D'après les renseignements donnés par MM. les ingénieurs de la Corse, les chemins en construction ne peuvent compter que sur un trafic modeste, dont le peu d'importance a précisément motivé l'adoption de la voie étroite.

Il faut donc compter que, pendant longtemps, le service devra être presque exclusivement assuré avec des trains mixtes. Il est extrêmement probable que, pour satisfaire le plus économiquement possible aux exigences du trafic des voyageurs et des marchandises, on desservira la ligne avec deux sortes de trains mixtes : lés uns, ayant plus spécialement le caractère et l'allure des trains de voyageurs, ne contiendront, en général, que les wagons complets à prendre ou à laisser dans les stations; les autres, qu'on pourrait appeler *marchandises-voyageurs*, seront, avant tout, des trains de marchandises qui transporteront surtout les marchandises de détail et ne contiendront les voyageurs qu'à l'état d'accessoires.

Les premiers circuleront aux heures les plus favorables pour les voyageurs; les seconds seront établis, de préfé-

rence, dans les périodes où le mouvement des voyageurs sera le moins actif.

Avec cette organisation, économique au point de vue de l'exploitation, on mettra, d'une part, à la disposition des voyageurs, le nombre de trains maximum que l'abondance du trafic permettra de mettre en marche, et, d'autre part, les wagons de marchandises étant écoulés par des trains relativement nombreux, on obtiendra la meilleure utilisation possible du matériel roulant.

Étant donnée cette organisation rationnelle, dont l'expérience sur diverses lignes à voie étroite, comme celles d'Hermes à Beaumont et d'Anvin à Calais, et même sur diverses lignes d'intérêt local du réseau du Nord, a démontré l'efficacité, on peut dire que le train *mixte* sera le type de train en usage sur les lignes de la Corse.

Les dispositions des gares devront donc répondre à cette organisation et les voies devront être installées de manière *à assurer le service avec le moins grand nombre d'agents possible*, *en faisant dans la plus large mesure possible les manœuvres avec les locomotives des trains*, *et en réduisant au minimum la durée du stationnement des trains dans les gares*, afin de ne pas allonger indéfiniment la durée du trajet et de ne pas rendre l'emploi des trains mixtes insupportable au public.

Tel est le programme que la sous-commission a eu en vue, en étudiant les dispositions des voies à adopter pour les gares et stations de la Corse. A défaut d'indications précises sur la nature, l'importance et le sens du trafic dans chaque gare, la Commission a cru devoir recommander aux ingénieurs de la Corse quelques types généraux pouvant servir de base sérieuse pour les études à faire dans chaque cas particulier, à l'effet de déterminer la longueur des voies de débord et de garage, la surface des halles, etc.

Il est, pour ainsi dire, inutile d'insister sur l'utilité qu'il y a à rapprocher, autant que possible, la gare des loca-

lités à desservir : la modicité même du trafic en fait une nécessité de premier ordre; il n'est pas besoin non plus de rappeler l'intérêt sérieux qu'il y a, au point de vue du public, à mettre du côté de ces localités, ou du moins du côté des plus importantes, les installations des voyageurs et des marchandises, et l'importance que présente, au point de vue du service, de la surveillance et de l'économie de l'exploitation, le rapprochement des diverses installations, bâtiments des voyageurs, halles à marchandises, service de débord, etc.

Cependant il peut arriver que des circonstances spéciales, telles que les dispositions des terrains, des voies d'accès, etc., conduisent à ne point placer de la même manière relative les divers éléments constitutifs de la gare.

Laissant de côté le cas des gares terminus et des gares de bifurcation qui devront être étudiées d'après les données spéciales à chaque cas, les gares locales de passage qui sont l'objet du présent examen peuvent présenter les deux cas suivants :

1° Le service des marchandises est du même côté que le bâtiment des voyageurs.

2° Le service des marchandises est du côté opposé au bâtiment des voyageurs.

Examinons successivement chacun des deux cas.

1° Le service des marchandises est du même côté que le bâtiment des voyageurs. Nous supposons, ce qu'on doit rechercher de préférence, qu'il est placé au delà du bâtiment des voyageurs.

Les *fig.* 6 et 7 de la Pl. XIII indiquent : pour le type n° 1 (*fig.* 6) les dispositions convenant à un trafic très faible de quelques wagons par jour pouvant aller jusqu'à 10 à 15 wagons; pour le type n° 2 (*fig.* 7) des dispositions plus vastes répondant à un mouvement de 15 à 30 wagons par jour.

Dans le type n° 1, les installations des marchandises

comprennent une voie de 140 à 160 mètres de longueur, terminée en impasse à ses deux extrémités, desservant du côté du bâtiment principal et très près de lui la halle et le quai découvert. Ces voies sont bordées, sur une largeur de 10 mètres d'une chaussée empierrée ou pavée pour permettre le chargement ou le déchargement des marchandises.

Cette voie est reliée en son milieu au moyen d'une *traversée-jonction double* avec bouts de voie se raccordant de part et d'autre aux voies principales.

Grâce à cette disposition, les trains déposent toujours les voitures à voyageurs vis-à-vis des quais, et les manœuvres s'effectuent à la machine pendant que les voyageurs montent ou descendent.

Enfin, grâce aux deux voies ou bouts de voie existant dans chaque sens, les trains peuvent, par une manœuvre aussi réduite que possible, déposer les wagons à laisser sur l'un des bouts de voie resté libre et prendre sur l'autre les wagons préparés à l'avance par la gare entre deux trains consécutifs.

Cette disposition, qui prévoit des petits bouts de voies éventuelles pour le dépôt des wagons quand le trafic grandit un peu, ne convient toutefois qu'à un trafic très modeste ne dépassant pas 10 à 15 wagons par jour; très probablement ce sera le cas assez fréquent en Corse.

Pour un trafic plus important, il convient de revenir ranchement à l'emploi des plaques, qui a d'autant moins d'inconvénient que la manœuvre en est moins pénible que sur les chemins à voie large. Le type n° 2 indique les dispositions à recommander dans ce cas, et se prêtant à un développement assez considérable du trafic.

On remarquera que les deux voies de chargement et de déchargement, à poser immédiatement ou successivement, suivant l'importance de la gare, sont doublées de voies de garage ou de dépôt auxquelles elles sont reliées par une traversée rectangulaire.

Les trains de chaque sens trouvent toujours deux voies, l'une libre pour déposer les wagons à laisser, l'autre pour prendre les wagons préparés par la gare entre deux trains. Cette disposition, qui augmente peu les dépenses d'établissement de la gare, réduit beaucoup la durée des manœuvres des trains ayant à prendre ou à laisser, et mérite, à cet effet, d'être recommandée.

2° Le service des marchandises est situé de l'autre côté du bâtiment des voyageurs. Les croquis des types nos 1 et 2 (Pl. XIII, *fig.* 8 et 9) indiquent les dispositions qui, comme dans le cas précédent, conviennent, le premier (*fig.* 8) à un trafic très modeste, inférieur à 10 ou 15 wagons et susceptible de peu de développement, et le second (*fig.* 9), à un mouvement plus important, de 15 à 30 wagons par jour, capable de grandir notablement.

Les dispositions ont les mêmes qualités que précédemment, c'est-à-dire que les voyageurs montent ou descendent immédiatement à quai et que la durée des manœuvres pour prendre ou laisser les wagons est très courte.

L'expérience démontre que cette durée, qui est un élément si considérable de l'emploi des trains mixtes, ne dépasse pas, avec des agents soigneux, la moitié de celle qu'exigent des dispositions différentes.

II

BATIMENTS. — BATIMENT PRINCIPAL ET HALLES A MARCHANDISES.

Bâtiments des voyageurs. — Les chemins de fer de la Corse étant, en réalité, des chemins de fer d'intérêt local destinés à desservir un nombre relativement faible d'habitants, il a paru à la sous-commission qu'il suffisait de prévoir un type de halte et deux types de stations complètes qui pourront s'appliquer dans tous les cas, à l'exception des gares terminus d'Ajaccio et de Bastia et de la gare de bi-

furcation de Casamozza, pour lesquelles il y aura lieu d'étudier des dispositions spéciales.

Le *type* de halte (Pl. XIII, *fig.* 5 et Pl. XIV, *fig.* 1 à 5), qui permet de faire face à un mouvement déjà un peu important de voyageurs avec bagages et messageries, ne comporte qu'une salle d'attente unique de 25 mètres carrés, avec un vestibule, un bureau et un logement pour le chef de halte.

Le *type B* (Pl. XIV, *fig.* 6 et *fig.* 7) pour station complète suffit largement pour satisfaire aux besoins d'une population de 1.200 à 4.000 habitants, desservie dans un rayon de 8 à 10 kilomètres. Il se compose, en dehors du logement du chef de station, situé à l'étage du bâtiment :

1° D'un vestibule de 16 à 17 mètres de superficie, dans lequel s'ouvrent les guichets des billets et des bagages;

2° De deux salles d'attente placées dans l'aile gauche et communiquant avec le vestibule;

3° De la salle des bagages, séparée du vestibule par la table à bagages et contenant la bascule. Une petite consigne fermée, de 4 à 5 mètres de superficie, a été ménagée à côté de cette salle;

4° Du bureau central des employés, placé à droite du vestibule, et où l'on réunit les services des billets, des bagages et du télégraphe.

Cette concentration a pour but de rendre la surveillance plus facile et de permettre d'assurer le service, s'il y a lieu, par un seul employé;

5° Enfin, du bureau du chef de station, d'un magasin pour les imprimés, le petit matériel, etc., et de l'escalier conduisant à l'étage placé dans l'aile droite du bâtiment.

Le *type C* (Pl. XV, *fig.* 1 à 3), qui convient pour les stations desservant une population de 4.000 à 8.000 âmes répartie dans un rayon de 8 à 10 kilomètres, comprend, outre le logement du chef de station situé à l'étage :

1° Un vestibule de 28 mètres carrés de superficie dans

lequel s'ouvrent les guichets des billets et des bagages;

2° Deux ou trois salles d'attente (*), placées dans l'aile gauche, communiquant avec le vestibule et ayant à peu près 50 mètres carrés de superficie;

3° La salle des bagages, séparée du vestibule par une table à bagages contenant la bascule. Une consigne de 7 à 8 mètres carrés a été ménagée dans l'angle de cette salle;

4° Le bureau central des employés placé à la suite du vestibule et ayant 15 à 18 mètres de superficie;

5° Le bureau du chef de station, le magasin pour les imprimés et le petit matériel, et enfin l'escalier occupant l'extrémité de l'aile droite du bâtiment.

Halle à marchandises (Pl. XV, *fig.* 4) — Le type de halle à marchandises, emprunté en partie au chemin de Hermes à Beaumont et au chemin d'Anvin à Calais, a une largeur réduite très suffisante pour le trafic, qui permet d'employer, pour la construction, des bois de commerce, et est, par suite, très économique. Les portes métalliques du système Clark prennent peu de place, sont faciles à manœuvrer et d'une installation peu coûteuse.

III

SIGNAUX.

Contrairement à quelques-unes des conclusions de M. l'ingénieur Sampité, la sous-commission a pensé qu'il convenait d'adopter, sans innover, les dispositions habituelles de couleurs et de signaux considérées sur le continent comme les plus propres à assurer la sécurité des lignes même à très faible trafic.

(*) Au lieu d'adopter trois salles d'attente, il pourra être avantageux de faire des salles de 2e et 3e classes une salle unique pour la 3e classe, et de consacrer la salle de 1re classe aux 1res et aux 2mes réunies.

Couleurs à donner aux signaux. — Ainsi la sous-commission estime que les couleurs *rouge*, *verte* et *blanche* doivent être employées avec la signification qu'elles ont sur le continent : le *rouge* pour commander l'arrêt, le *vert* pour commander le ralentissement, le *blanc* ou l'absence de signaux pour indiquer que la voie est libre.

Distance des disques du point à couvrir. — En ce qui concerne la distance à laquelle les signaux commandant l'arrêt ou le ralentissement doivent être placés de l'obstacle, il n'a pas paru utile à la sous-commission d'adopter rigoureusement les distances en usage sur le continent pour les lignes à voie large où circulent des trains lourds et rapides.

On peut évidemment réduire beaucoup cette distance dans la plupart des cas, comme on l'a fait d'ailleurs sur le chemin de fer à voie étroite de Hermes à Beaumont et sur celui d'Anvin à Calais.

Aussi lorsque la ligne sera en palier ou en pente de moins de 5 millimètres, il suffira que le signal d'arrêt soit placé à 300 mètres environ du *point à couvrir*.

Lorsque le profil de la ligne présentera une pente comprise entre 5 et 15 millimètres, le signal d'arrêt pourra être placé à 400 mètres *de l'obstacle*. Enfin, lorsque le profil de la ligne présentera une déclivité supérieure à 15 millimètres, il suffira de porter la distance à 500 mètres environ.

Ces distances sont bien suffisantes avec les trains relativement légers et peu rapides du réseau corse, et d'autant plus que, dans ses rapports précédents, la sous-commission a recommandé de munir de freins continus le matériel à voyageurs, en adaptant au matériel à marchandises des tuyaux de communication permettant l'action du frein continu sur une partie importante du train.

Dans le cas où il s'agit de couvrir un obstacle accidentel situé sur la voie, en un point où il n'existe pas de signaux

fixes, la distance précédemment fixée comme suffisante pour la sécurité doit être augmentée de 200 mètres, c'est-à-dire d'une longueur équivalente à la distance à laquelle les mécaniciens peuvent, en général, apercevoir un signal fixe.

Toutefois, pour éviter toute erreur de la part des agents qui, arrêtés en pleine voie, peuvent ignorer sur quelle déclivité ils se trouvent, il y a lieu de fixer, dans le cas de signaux faits à la main, un chiffre unique, en majorant de 200 mètres la plus grande distance indiquée ci-dessus.

Par conséquent, quand on devra poser des pétards, un drapeau ou une lanterne sur la voie, il faudra le faire à 700 mètres de l'obstacle dans les deux directions, puisque la voie est unique.

Poteaux-limite de protection des disques. — Lorsque le mécanicien voit le disque à l'arrêt, il doit immédiatement se rendre maître de la vitesse de son train et avancer avec la plus grande prudence, de manière à pouvoir s'arrêter dans l'espace resté libre devant lui sans jamais atteindre une aiguille ou une traversée protégée par le signal fixe.

Pour permettre aux agents des trains ainsi arrêtés en avant d'un obstacle de reconnaître si leur train est, lui aussi, couvert par le disque à distance contre l'arrivée, peu probable il est vrai, mais possible, d'un autre train ou d'une machine marchant dans le même sens, la sous-commission croit aussi devoir recommander l'emploi de *poteaux* indicateurs de *la limite de protection des disques.*

Ces poteaux sont alors considérés eux-mêmes comme des obstacles à couvrir et placés par conséquent à une distance du disque égale à celle qui a été indiquée plus haut.

De cette façon, si un train ayant trouvé à l'arrêt un disque à distance a dû s'arrêter en avant de la station, le conducteur d'arrière, pour savoir si le train est dûment couvert

par le disque, devra s'assurer que le dernier wagon a dépassé le poteau limite.

Toutes les fois qu'il n'en sera pas ainsi, le train devra être considéré comme en pleine voie et couvert, à la distance réglementaire de 700 mètres, par le garde-frein d'arrière, sous la responsabilité du chef de train.

Distance des disques aux stations. — Pour qu'un train dont la longueur maxima sera de 200 mètres, arrêté devant le bâtiment des voyageurs, pût être couvert par le signal d'arrêt, il faudrait que ce dernier fût placé à 500, 600 ou 700 mètres de ce bâtiment, selon les cas examinés plus haut.

Mais comme, dans chaque station, il y a un dédoublement de la voie principale, le train qui manœuvre dans la station doit dégager complètement l'aiguille de dédoublement en empruntant la voie unique, et, dans ce mouvement, il faut qu'il soit couvert à une distance de 200 mètres de l'aiguille de dédoublement. Par conséquent, le poteau limite ne pourra être placé à moins de 200 mètres de cette aiguille et le disque à moins de 500, 600 ou 700 mètres de l'aiguille de dédoublement.

Grosses cloches électriques. — Malgré le peu d'importance qu'aura la circulation sur les chemins de fer de la Corse, la sous-commission estime que, sans être absolument nécessaire, l'installation de grosses cloches électriques aux stations et aux passages à niveau rendra d'autant plus de services que le tracé de la ligne sera extrêmement accidenté.

Calage des aiguilles. — Dans les stations à voie unique où la voie se dédouble devant le bâtiment des voyageurs, les aiguilles de dédoublement abordées en pointe par les trains arrivant dans la station doivent toujours donner la

direction de gauche. Lorsque les trains quittent la station, ces aiguilles sont prises en talon dans la direction de droite.

Lorsque l'aiguille n'est pas manœuvrée à distance, le train passant sur une aiguille prise en talon lui donne naturellement la position qu'elle doit prendre, et il est, dans ce cas, inutile de manœuvrer au préalable cette aiguille.

Mais il n'en est pas de même lorsque l'aiguille est abordée par la pointe. Il est alors indispensable que les agents de la station se soient assurés que l'aiguille est bien dirigée et que la lame est bien appliquée contre le rail adjacent.

Pour éviter que, dans les petites stations où le personnel très restreint est souvent réduit à un seul agent, celui-ci ne soit obligé d'aller, au moment de l'arrivée du train, vérifier si l'aiguille est bien faite, la sous-commission croit devoir recommander l'emploi des chevilles cadenassées servant à caler le contrepoids du levier de manœuvre qui maintient l'aiguille dans une position déterminée.

Quelque temps après le passage de chaque train, une visite de l'appareil doit être faite pour s'assurer que la lame est bien appliquée contre le rail.

Indicateur d'aiguille. — Comme complément de garantie et dans le but de renseigner à distance les agents des gares sur la position réelle occupée par l'aiguille du dédoublement de la voie unique, la sous-commission croit devoir recommander l'usage des appareils appelés indicateurs d'aiguilles en usage sur les compagnies de l'Est et du Nord français pour les aiguilles en pointe qui ont une position normale déterminée.

Ces appareils sont composés d'une flamme verte, en tôle, surmontée d'une lanterne à trois faces dont une verte, montée sur un axe vertical pivotant et pouvant présenter la flamme soit perpendiculairement, soit parallèlement à la voie.

Quand la flamme est parallèle à la voie, elle n'est pas visible le jour, et la nuit on n'aperçoit que le feu blanc de la lanterne : cela signifie que l'aiguille occupe bien sa position normale.

Si, au contraire, la flamme verte se présente transversalement et si, la nuit, on aperçoit un feu vert, c'est que l'aiguille n'est pas dans sa position normale.

Tel est le résumé des diverses dispositions de voies, de bâtiments et de signaux que la sous-commission croit devoir recommander aux ingénieurs de la Corse. Ces dispositions ne répondent pas évidemment à tous les cas qui peuvent se présenter, mais elles conviennent à la plupart d'entre eux et pourront servir de guide ou de programme dans l'étude qui doit être faite de chaque espèce en tenant compte : de l'importance de la population à desservir et de son plus ou moins d'aptitude à se déplacer ; de la nature et de l'abondance du trafic de petite vitesse, ainsi que du sens dans lequel se font les transports, du nombre de trains, etc., etc.

Paris, le 1er décembre 1882.

Le Rapporteur de la Sous-Commission,
A. SARTIAUX.

Le Président,
SÉVÈNE.

CINQUIÈME PARTIE.

TYPE DE MATÉRIEL ROULANT A VOYAGEURS POUR LA PARTIE DE RÉSEAU A COURBES RAIDES ET A FORTES DÉCLIVITÉS.

La sous-commission chargée par le Comité de l'exploitation technique des chemins de fer de l'étude du matériel fixe et roulant des chemins de fer corses avait, dans son

premier rapport du 2 janvier 1881, traitant des conditions d'établissement de la voie, exprimé le vif désir que le rayon des courbes de voie courante fût, autant que possible, supérieur à 200 mètres et ne descendît qu'exceptionnellement aux limites inférieures de 150 et surtout de 100 mètres.

Elle faisait remarquer que, avec le matériel rigide ordinaire comportant des écartements d'essieux de 2^{m},20 à 3 mètres, les courbes de 100 et de 200 mètres de rayon des chemins à voie de 1 mètre équivalaient à peu près aux courbes de 300 et de 400 mètres des chemins à voie de 1^{m},450 et que, par conséquent, il convenait d'adopter les courbes équivalentes à celles que l'expérience a fait reconnaître sur la voie normale comme les plus favorables à un bon service de traction.

Partant de ce principe, la sous-commission, dans son rapport du 10 mai 1881, a donné le programme d'un matériel à voyageurs du type ordinaire avec caisses reposant sur un châssis de 6 mètres à deux essieux écartés de 3 mètres; la sous-commission indiquait que les besoins de l'exploitation pourraient démontrer l'utilité d'employer des voitures à long châssis du type des voitures à couloir.

Depuis que ces rapports ont été rédigés, la sous-commission a appris que M. le Ministre des travaux publics avait, sur l'avis du Conseil général des ponts et chaussées, prescrit aux ingénieurs de la Corse d'étudier quelles seraient, au point de vue de la dépense, les conséquences de la substitution de rayons supérieurs au rayon de 100 mètres admis dans les premiers projets.

Cette étude a montré que, dans certaines parties, la dépense serait augmentée de 1/3 à 1/2 par cette simple substitution, tandis que sur d'autres on obtiendrait l'amélioration avec un supplément de dépenses minimes.

En conséquence, M. le Ministre, dans une décision du 8 juin 1881, a prescrit de conserver le rayon de 100 mètres comme minimum, mais d'adopter celui de 150 mètres

toutes les fois qu'il n'en résulterait pas une augmentation notable de dépenses.

En présence de cette situation, la sous-commission s'est demandé s'il ne convenait pas d'insister plus qu'elle ne l'avait fait, sur l'intérêt que, dans les parties accidentées et où les courbes d'un rayon voisin de 100 mètres sont fréquentes, présenterait au point de vue de la vitesse des trains et de l'entretien du matériel de la voie ou du matériel lui-même, l'emploi d'un type de voitures flexibles comme celles dont les caisses reposent sur les châssis à trains articulés employés pour le matériel américain.

Sans repousser absolument le matériel à châssis ordinaire *maniable et commode* qui pourrait, si les convenances du public l'exigent, être utilisé sur les sections du réseau présentant les courbes d'un rayon supérieur à 200 mètres, la sous-commission a pensé qu'il y aurait un sérieux intérêt à employer sur les parties du tracé à courbes raides des voitures à trains articulés analogues à celles que, sur la demande de M. Level, M. Banderali a étudiées pour le chemin à voie de 1 mètre, d'Anvin à Calais, et qui y donnent les meilleurs résultats.

En outre donc du type à châssis ordinaire décrit dans le rapport du 10 mai 1881, la sous-commission a cru devoir soumettre à l'approbation du comité technique les dispositions suivantes de deux types de voitures à voyageurs reposant sur des châssis identiques, mais dont les caisses sont, dans l'une, du type ordinaire employé sur le continent, et, dans l'autre, du type à couloir, employé en Suisse.

Châssis. — Données.

Ecartement d'axe en axe des trains articulés. . .	5^{m},400
— des essieux des trains articulés. . . .	1 ,400
Longueur des châssis	9 ,420
Ecartement des rails.	1 ,000

Hauteur des appareils de choc au-dessus du rail.	0^m,805
Hauteur de la traction au-dessus du rail	0 ,655
Diamètre des roues	0 ,700
Longueur des ressorts.	1 ,200

Construction du châssis de caisse. — Le châssis est tout en fer, avec traction centrale et tampon central. Il se compose essentiellement de deux longerons formés de deux fers en I de 0^m,200 de hauteur très bien armés, de deux traverses extrêmes en] et de six traverses intermédiaires.

Ce châssis, fortement entretoisé, est complété par quatre fers en U de 80/40, disposés en losange, à l'intérieur du grand rectangle formé par les longerons et les traverses extrêmes, rectangle rendu invariable en ses sommets par des tôles triangulaires rivées sous les ailes inférieures des fers.

Trains articulés. — Les châssis des trains articulés sont également en fer.

Caisses. — I. *Type à compartiments ordinaires.* — 1° Voiture mixte à frein (1re et 3e classe ou 2e et 3e classe) de 40 places, avec compartiment pour les bagages (Pl. IX, *fig.* 1 et 2).

La caisse de cette voiture comprend : cinq compartiments de 8 places chacun; un compartiment pour les bagages et le garde-frein.

Les cinq compartiments devront être répartis entre les trois classes, de telle sorte que *le nombre des places offertes aux voyageurs des trois classes soit à peu près proportionnel au nombre des voyageurs de ces trois classes en Corse.* On offrira proportionnellement plus de places de 1re classe que de 2e classe, de 2e classe que de 3e classe.

Il faudra probablement :

1 compartiment de 1re classe,
1 compartiment de 2e classe,
3 compartiments de 3e classe.

Les cloisons des compartiments de 3e classe ne s'élèveront pas au-dessus de la tête des voyageurs.

La caisse a, dans l'axe et à l'extérieur, 2m,185 de hauteur. Les portières sont latérales et à ventilateurs.

2° Voiture de 3e classe à frein, de 40 places, avec compartiment pour les bagages (Pl. IX, *fig.* 3 et 4).

La caisse de cette voiture comprend cinq compartiments de 3e classe de 8 places chacun, et sans cloisons séparatives, et un compartiment pour les bagages et le garde-frein; sa hauteur est la même que celle de la voiture précédente. Les portières sont latérales et à ventilateurs; les banquettes sont lattées avec dossier renversé.

— II. *Type à couloir.* — 3° Voiture mixte à 36 places, à couloir central et à compartiment pour bagages (Pl. XIII, *fig.* 1 et 2). La caisse comprendrait :

1	coupé pour les voyageurs	de 1re classe (4 places),	
1	compartiment	—	de 2e classe (8 places),
1	—	—	de 3e classe (24 places).

4° Voiture de 3e classe à 36 places, à couloir central, avec compartiment à bagages, ou à 48 places sans compartiment de bagages (Pl. XIII, *fig.* 3 et 4).

En résumé, en raison du tracé en plan à courbes raides que des nécessités d'économie ont conduit à admettre sur le réseau Corse, la sous-commission croit devoir recommander aux ingénieurs chargés de la construction de ce réseau l'adoption de *voitures à voyageurs à trains articulés*, de préférence au type précédemment étudié en vue d'un tracé à courbes ne descendant qu'exceptionnellement au-dessous de 200 mètres de rayon.

Elle soumet à leur examen deux types à châssis iden-

tiques, mais dont les caisses sont différentes, en leur laissant le soin de décider d'après leurs études locales si pour les convenances du public, il convient d'adopter le type à couloir ou si, au contraire, il n'est pas préférable de choisir le type à compartiments ordinaires qui paraît mieux répondre aux nécessités d'une exploitation économique.

Paris, le 15 avril 1883.

Les Rapporteurs de la Sous-Commission,
BANDERALI. — A. SARTIAUX.

Le Président,
SÉVÈNE.

LÉGENDE EXPLICATIVE DES PLANCHES.

Planche VI.

Fig. 1. — Rail recommandé par la Commission.
Fig. 2. — Éclisse du rail recommandé par la Commission.
Fig. 3. — Rail incliné à $\frac{1}{16}$.
Fig. 4. — Rail incliné à $\frac{1}{20}$.
Fig. 5. — Rail en acier de 21^k,865 (type *bullheaded*).
Fig. 6. — Éclisse du rail *bullheaded*.
Fig. 7 et 8. — Coussinet du rail *bullheaded*.
Fig. 9. — Tirefond pour rail à patin.
Fig. 10 et 11. — Détail d'un joint de rails à patin.
Fig. 12, 13 et 14. — Plaque d'arrêt pour rail à patin.
Fig. 15, 16, 17 et 18. — Pose des traverses pour des rails de 5, 6, 7 et 8 mètres.
Fig. 19. — Pose de voie en courbe de 200 mètres ou au-dessous.
Fig. 20. — Croquis servant au calcul de la résistance de la traverse à la rupture.
Fig. 21. — Croquis servant au calcul de la pression du rail sur les traverses.
Fig. 22. — Croquis servant au calcul du travail du fer dans les éclisses.
Fig. 23, 24 et 25. — Croquis servant au calcul de l'inclinaison du rail.

Planche VII.

Locomotive-tender à trois essieux couplés et arrière-train mobile système Bissel.

Fig. 1. — Élévation longitudinale.
Fig. 2. — Vue d'arrière et coupe par l'essieu du Bissel.
Fig. 3. — Coupe verticale du foyer.
Fig. 4. — Coupe horizontale, et détails du Bissel.

Planche VIII.

Locomotive-tender à trois essieux couplés et arrière-train système Bissel.

Fig. 1. — Coupe longitudinale.
Fig. 2. — Coupe transversale par la cheminée et par le foyer.
Fig. 3. — Demi-coupe horizontale.

Planche IX.

Fig. 1. — Voiture mixte à trains articulés (40 places), Élévation longitudinale.
Fig. 2. — id. id. Plan.
Fig. 3. — Voiture de 3e classe à trains articulés (40 places). Élévation longitudinale.
Fig. 4. — id. id. Plan.
Fig. 5. — Avant-projet d'un châssis de voiture de 6 mètres de longueur avec traction centrale. Coupe longitudinale.
Fig. 6. — id. id. Plan.
Fig. 7. — id. id. Coupe transversale.
Fig. 8. — Application de boîtes Roy à l'essieu d'arrière des locomotives. Coupe horizontale.
Fig. 9. — id. id. Vue de côté.
Fig. 10. — id. id. Coupe transversale.

Planche X.

Fig. 1. — Locomotive de Hermes-Beaumont. Élévation longitudinale.
Fig. 2. — id. id. Plan.
Fig. 3. — Wagon à bagages avec compartiment de 2e classe. Élévation longitudinale.
Fig. 4. — id. id. Plan.
Fig. 5. — Voitures de 3e classe (32 places). Frein à vide. Élévation longitudinale.
Fig. 6. — id. id. Plan.

Fig. 7. — Voiture mixte, 1re et 2e classe (22 places). Élévation longitudinale.
Fig. 8. — id. id. Plan.
Fig. 9. — Voiture mixte, 1re, 2e et 3e classe, à frein. Élévation longitudinale.
Fig. 10. — id. id. Plan.

Planche XI.

Fig. 1. — Voiture de 3e classe à trains articulés (56 places). Élévation longitudinale.
Fig. 2. — id. id. Plan.
Fig. 3. — Voiture mixte, 1re et 3e classe (31 places). Élévation longitudinale.
Fig. 4. — id. id. Plan.
Fig. 5. — Type de voiture à 44 pl. Voiture d'hiver. Voiture d'été. } Élévation et coupe.
Fig. 6. — id. id. Plan.
Fig. 7. — Type de voiture à 24 pl. Voiture d'hiver. Voiture d'été. } Coupe longitudinale.
Fig. 8. — id. id. Plan.

Planche XII.

Fig. 1. — Wagon plate-forme (10 tonnes). Élévation longitudinale.
Fig. 2. — id. id. Plan.
Fig. 3. — Wagon tombereau avec haussettes mobiles (10 tonnes). Élévation longitudinale.
Fig. 4. — id. id. Plan.
Fig. 5. — Wagon fermé à marchandises à volets mobiles (10 tonnes). Élévation longitudinale.
Fig. 6. — id. id. Plan.
Fig. 7. — Fourgon à bagages avec compartiment pour la poste. Élévation et coupe.
Fig. 8. — id. id. Plan.
Fig. 9. — Wagon fermé à marchandises, avec guérite (10 tonnes). Élévation longitudinale.
Fig. 10. — id. id. Plan.
Fig. 11. — Tracé comparatif des résultats donnés par la méthode du P.-L.-M. et par celle de M. Ledoux, pour les charges que peuvent remorquer les machines.

Planche XIII.

Fig. 1. — Voiture mixte à trains articulés (36 places). Élévation longitudinale.
Fig. 2. — id. id. Plan.
Fig. 3. — Voiture de 3e classe à trains articulés (48 places). Élévation longitudinale.
Fig. 4. — id. id. Plan.

Fig. 5. — Type de halte.
Fig. 6. — Type n° 1 de gare ayant le service des marchandises du même côté que le bâtiment principal.
Fig. 7. — Type n° 2 de gare ayant le service des marchandises du même côté que le bâtiment principal.
Fig. 8. — Type n° 1 de gare ayant le service des marchandises opposé au bâtiment principal.
Fig. 9. — Type n° 2 de gare ayant le service des marchandises opposé au bâtiment principal.

Planche XIV.

Fig. 1. — Élévation côté des voies du type de bâtiment pour halte.
Fig. 2. — Plan de l'étage.
Fig. 3. — Plan du rez-de-chaussée.
Fig. 4. — Élévation du pignon.
Fig. 5. — Coupe transversale.
Fig. 6. — Bâtiment des voyageurs (type B), plan de l'étage.
Fig. 7. — id. id. plan du rez-de-chaussée.

Planche XV.

Fig. 1. — Bâtiment des voyageurs (type C). Élévation.
Fig. 2. — id. id. Plan du premier étage.
Fig. 3. — id. id. Plan du rez-de-chaussée.
Fig. 4. — Halle à marchandises. Coupe en travers et plan.

NOTE

SUR LA

COMMANDE DE LA PRISE DE VAPEUR DU FREIN A VIDE

SUR LES LOCOMOTIVES DE LA COMPAGNIE DU NORD.

Par M. Ed. SAUVAGE, ingénieur des mines.

Dans les appareils du frein à vide, qui sont montés sur 830 locomotives de la Compagnie du Nord (au 15 octobre 1883), on gradue le degré du vide, et, par suite, l'intensité du serrage des sabots contre les roues, en admettant plus ou moins de vapeur dans les éjecteurs. La valve qui commande la prise de vapeur des éjecteurs, telle qu'elle a été adoptée en dernier lieu sur la Compagnie du Nord, permet de régler l'admission de vapeur comme il suit : on peut l'ouvrir brusquement en grand, pour produire un arrêt rapide, ou bien l'ouvrir lentement et graduellement, pour les arrêts modérés. En outre, l'ouverture brusque de la valve se produit au moyen d'un déclenchement électrique, qui peut être manœuvré par les agents du train et qui fonctionne automatiquement lorsque la machine approche d'un signal à l'arrêt.

Cette valve, avec ses appareils de commande, est représentée *fig.* 1, pl. XVI. La valve elle-même porte une double soupape, sur laquelle vient presser la vapeur de la chaudière. Cette soupape est commandée par une tige traversant un presse-étoupes. La petite soupape fait corps avec

cette tige, qui entraîne la grande lorsque la petite soupape a démasqué son ouverture. Cette tige vient se fixer à l'extrémité d'une tige plus longue, filetée sur une partie de sa longueur et portant un écrou à tourillons. Les tourillons de cet écrou sont entraînés par le petit bras d'un levier coudé dont le grand bras porte un contrepoids. Ce contrepoids, sans être très lourd, est suffisant pour déterminer l'ouverture de la soupape, en partie équilibrée grâce à sa disposition spéciale. Il y a, dans les articulations du levier, un jeu suffisant, pour que les tourillons de l'écrou prennent un mouvement rectiligne au lieu de décrire un arc de cercle.

Nous dirons plus loin comment le levier est maintenu dans sa position normale. Mais on voit dès maintenant que sa chute produit l'ouverture en grand de la prise de vapeur. Au contraire, en faisant tourner la tige filetée, au moyen du volant de manœuvre qu'elle porte à son extrémité, dans l'écrou à tourillons maintenu immobile par le levier, on détermine une ouverture graduelle de la soupape.

Sur la tige filetée sont goupillées deux rondelles dont la position doit être réglée avec soin au montage. L'une d'elles, A, vient lutter contre un arrêt fixe, afin de limiter la course de la soupape, dans le cas où le déclenchement fonctionnerait lorsqu'elle est déjà ouverte. L'autre rondelle, B, en butant contre l'écrou à tourillons, empêche qu'en voulant fermer la soupape à fond, on n'exerce sur cet écrou une pression trop forte, qui pourrait paralyser le mouvement de déclenchement.

L'appareil de déclenchement se compose d'un électro-aimant Hughes maintenant au contact une armature en fer, qu'un ressort antagoniste tend à séparer de ses pôles. Un courant de sens convenable passant dans les bobines de l'électro-aimant en détruit partiellement l'aimentation et l'armature obéit au ressort. Son mouvement est transmis au dehors de la boîte contenant ces appareils par une

tige qui accomplit, lors du passage du courant, un parcours de 0,01 avec une force de 4 kilogrammes environ.

Cette tige, T, *fig.* 2, pl. XVI, soulève alors le petit levier L, qui s'appuie vers l'une de ses extrémités contre un buttoir C. A l'autre extrémité, ce levier s'articule sur une fourchette F, mobile autour d'un point fixe O. Le levier à contrepoids qui commande la soupape repose sur un plan incliné que porte la fourchette : quand le petit levier L se soulève, le levier à contre-poids tombe en faisant tourner la fourchette et la soupape s'ouvre. Le petit levier L est en outre muni d'une poignée qui permet de le soulever à volonté pour déclencher le levier à contrepoids.

Le fil de la bobine de l'électro-aimant Hughes est relié d'une part à la terre par l'intermédiaire des pièces métalliques de la machine, des roues et des rails, et, d'autre part, à une brosse métallique isolée, placée sous la machine. Cette brosse vient frotter sur des contacts fixes composés d'une poutre recouverte d'une feuille de cuivre isolée, placés dans l'axe de la voie. La longueur d'un contact est de 2 mètres. La feuille de cuivre est reliée par un fil au pôle positif d'une pile mise en relation avec le signal d'arrêt (cette pile existait déjà pour actionner les sonneries des gares). Lorsque le signal est à voie libre, le circuit n'est pas complété, le passage de la brosse d'une machine sur le contact ne produit pas d'effet. Si le signal est à l'arrêt, le circuit se trouve complété lors du passage de la machine, la soupape du frein se déclenche et les sabots s'appliquent automatiquement sur les roues.

On a aussi permis au chef de train d'actionner le frein, en prolongeant jusqu'à la machine la communication électrique qui existait déjà sur le reste du train et en plaçant dans le fourgon un commutateur spécial permettant d'envoyer dans l'électro-aimant un courant de sens convenable.

L'appareil électro-magnétique de déclenchement existait

sur les locomotives du chemin de fer du Nord avant l'application du frein à vide ; il agissait alors sur une petite soupape qui, en s'ouvrant, admettait la vapeur dans un sifflet. Cet appareil, connu sous le nom de *sifflet électromoteur*, avait été étudié et construit par MM. Lartigue, Forest et Digney. En cas de brouillard ou dans le cas tout à fait exceptionnel où ils auraient été inattentifs, les mécaniciens étaient prévenus du passage devant un signal à l'arrêt. On a trouvé préférable d'agir sur le frein même au lieu de donner un avertissement.

Les appareils que je viens de décrire fonctionnent avec une grande régularité. Ils permettent de manœuvrer le frein à vide ainsi que je l'indiquais au commencement de cette note, avec la plus grande facilité. Je signalerai spécialement l'emploi du frein avec une faible admission de vapeur dans les éjecteurs, pour appliquer légèrement les sabots sur les roues pendant la descente des pentes.

NOTE COMPLÉMENTAIRE
SUR LE PLANIMÈTRE D'AMSLER

Par M. THIRÉ,
Professeur à l'École des mines d'Ouro-Preto (Brésil).

Dans une note précédente publiée dans les *Annales des mines* (8e série, tome I, 1882), j'ai donné la théorie du planimètre d'Amsler, en décomposant la surface plane à mesurer au moyen d'un double réseau de lignes que j'ai appelées *cercles de roulement* et *courbes de glissement*.

Le même principe de démonstration pourrait être conservé avec d'autres modes de décomposition de la surface à mesurer. Par exemple, on pourrait avoir recours à des cercles concentriques au pôle et à des rayons passant par le pôle. Ce mode de décomposition, évidemment un des plus simples, a l'avantage de ne donner lieu qu'à un calcul très élémentaire.

Établissons, avec ce dernier mode de décomposition, la théorie du planimètre pour un des éléments de la surface à mesurer

Soient, *fig.* 3, Pl. XVI,

O le pôle du planimètre;
OA, BAC, les deux branches de l'instrument articulées en A;
B la pointe sèche ou style destiné à suivre le contour de la surface à mesurer;
C la roulette.

Désignons par

R la longueur OA;
L id. AB;
l id. AC;
ρ le rayon vecteur OB;
α l'angle OAC.

R, L, l sont des constantes qui dépendent de l'instrument ; ρ et α sont deux éléments variables qui dépendent l'un de l'autre.

Du centre O et avec le rayon $\rho = OB$ décrivons un arc de cercle BB'. Soit θ l'angle au centre correspondant BOB'. En appelant S la surface BOB' limitée à l'arc BB' on a

$$S = \frac{1}{2}\rho^2\theta.$$

Or, dans le triangle OBA on a

$$\rho^2 = R^2 + L^2 + 2RL\cos\alpha.$$

Donc

$$S = \frac{1}{2}(R^2 + L^2 + 2RL\cos\alpha)\theta. \tag{1}$$

Le planimètre étant dans la position OABC, faisons parcourir à la pointe B l'arc de cercle BB' (la pointe O restant fixe). Dans ce mouvement du planimètre, l'angle α reste constant puisque ρ ne varie pas. Soit ε l'angle que le plan de la roulette fait avec la perpendiculaire à CO. Pendant que la pointe B parcourt l'arc BB', le point de contact de la roulette décrit sur le papier l'arc

$$OC \times \theta,$$

et la roulette, constamment inclinée de l'angle ε sur la perpendiculaire à CO, roule de l'arc

$$OC \times \theta \times \cos\varepsilon.$$

En appelant x cet arc de roulement de la roulette, nous

aurons donc

$$x = OC \times \theta \times \cos \varepsilon.$$

Abaissons la perpendiculaire OH sur BAC.

$$OC \times \cos \varepsilon = OC \times \cos OCH = CH = AH - AC = R \cos \alpha - l.$$

D'où

$$(2) \qquad x = (R \cos \alpha - l)\theta.$$

Éliminons maintenant α entre (1) et (2). Nous aurons

$$(3) \qquad S = Lx + \frac{(R^2 + L^2 + 2Ll)}{2}\theta.$$

Soit DD′ un arc de cercle concentrique à BB′ et limité aux mêmes rayons OB, OB′. Cè second arc DD′ a le même angle au centre θ. Soit S_1 la surface ODD′ et soit x_1 l'arc de roulement de la roulette du planimètre quand la pointe sèche parcourt l'arc DD′. Nous aurons, comme pour (3)

$$(4) \qquad S_1 = Lx_1 + \frac{(R^2 + L^2 + 2Ll)}{2}\theta.$$

Retranchons (4) de (3) :

$$(5) \qquad S - S_1 = L(x - x_1).$$

Soit ω la surface BB′D′D. On a

$$(6) \qquad \omega = S - S_1.$$

Faisons parcourir à la pointe mobile du planimètre le contour complet du quadrilatère mixtiligne BB′D′D, et cherchons le roulement de la roulette correspondant à ce parcours total. Les roulements partiels relatifs aux côtés B′D′ et DB se détruisent évidemment. Les roulements partiels relatifs aux côtés BB′ et D′D sont x et x_1. Ils sont de signes contraires. Le roulement définitif de la roulette est donc $x - x_1$. En appelant z ce roulement total de la roulette relatif au parcours entier du périmètre BB′D′DB, on a

$$(7) \qquad z = x - x_1.$$

En comparant (5), (6), (7) on trouve

$$\omega = Lz. \tag{8}$$

La théorie du planimètre se trouve ainsi établie par cette formule (8) pour le cas particulier d'une surface limitée à deux rayons passant par le pôle et à deux cercles concentriques au pôle.

Pour une surface limitée par une courbe quelconque, si cette surface est décomposée en éléments infiniment petits par des rayons passant par le pôle et par des cercles concentriques au pôle, l'équation (8) pourra être appliquée à chacun de ces éléments de la surface.

La théorie du planimètre étant une fois établie pour un des éléments de la surface, on sait qu'elle s'étend immédiatement à la surface tout entière, ainsi qu'il a été montré antérieurement dans la note que j'ai rappelée en commençant.

Ouro-Preto, 18 mars 1883.

FORMULES ANALYTIQUES

RELATIVES AUX

LOIS DE LA RICHESSE DES FILONS

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE,
Ingénieur en chef des mines,
Professeur d'exploitation à l'École supérieure des mines.

§ I.

PRÉLIMINAIRES.

1. — L'un des progrès les plus importants de l'exploitation des mines métalliques a consisté à formuler en quelques lois claires et précises, présentant à la vérité un caractère de grande généralité plutôt que de constance absolue, le résultat des observations des mineurs expérimentés. Ces énoncés sont de deux sortes. Les uns concernent l'influence chimique exercée par les roches encaissantes sur la minéralisation des filons (1), suivant que, plus ou moins attaquables par les sources hydrothermales qui circulaient dans les fractures de l'écorce terrestre, elles ont préparé un plus grand vide pour les dépôts utiles, ou col-

(*) L'influence des roches encaissantes avait été remarquée déjà dans le siècle dernier, car elle a été signalée par Délius (*Traité sur la science des mines par théorie et pratique*, traduction de Schreiber; Paris, 1778, page 64).

laboré par leurs éléments aux doubles décompositions qui ont eu pour effet de précipiter ces substances. Les autres sont d'un ordre purement géométrique, et c'est à ces dernières que se rapporte le présent travail.

Ces lois concernent la disposition relative de la stratification du terrain et des fractures qui l'ont affecté. Dans les variations d'allure de ces dernières, il y a lieu de distinguer leur direction, leur inclinaison et l'orientation de leur intersection par le plan des strates. Ces trois éléments ont donné lieu aux énoncés suivants :

1° En ce qui concerne les variations qu'éprouve la direction du filon, quand on le suit par une galerie d'allongement, M. l'ingénieur en chef des mines Moissenet a formulé, dans son remarquable ouvrage sur les parties riches des filons (*), une loi importante qu'il a dégagée avec beaucoup de sagacité de l'obscurité des nombreuses observations faites dans le Cornwall. Il l'énonce ainsi : *Les parties riches sont souvent orientées selon la direction du système stratigraphique auquel se rapporte la fracture initiale du filon dans la région soumise à l'observation.*

2° En ce qui concerne les variations de l'inclinaison, l'on peut dire que, la plupart du temps, *les parties les plus raides sont les plus riches*. Cet énoncé est d'ordinaire attribué à Richard Thomas qui l'a donné, en 1819, dans son mémoire sur le district minier qui s'étend de Chacewater à Camborne (**). Mais le fait était bien connu des anciens mineurs français, car Hellot l'a consigné, en 1756, dans sa description de l'exploitation des mines de Baigorri en Basse-Navarre (***). On y lit en effet : « Depuis deux ans le filon

---

(*) Paris, Dunod, 1874, p. 26.

(**) Moissenet, *Parties riches des filons*, p. 15. — Henwood, *Annales des mines*, 7e sér., t. II, p. 180.

(***) Gobet, *Anciens minéralogistes du royaume de France*, 1779, t. I, p. 216.

« de cette mine d'argent continuant d'être presque horizontal, devient pauvre. C'est, comme on le sait, un « défaut commun à tous les filons qui s'éloignent trop de « la perpendiculaire. » En 1773, le même fait était pourtant encore catégoriquement contesté en Allemagne par Délius (*).

3° En ce qui concerne l'orientation de l'intersection du filon par les couches encaissantes, Richard Tregaskis a remarqué le premier, en 1836, que *les zones métallifères plongent souvent dans le même sens que le terrain* (**).

Les causes qui ont fait onduler le plan du filon, en imprimant des variations à sa direction et à son inclinaison, résident essentiellement dans la plus ou moins grande facilité qu'a rencontrée la propagation de la cassure, à travers les divers bancs qui composent la stratification. La dureté, plus accusée chez quelques-uns d'entre eux, tend à rapprocher le plan de séparation de celui de moindre résistance, qui est naturellement le plan de plus courte traversée de ce lit, c'est-à-dire le plan normal. Si, dans d'autres couches, la ténacité est moins prononcée, l'orientation de la rupture obéit plus complètement aux efforts généraux qui tendent à briser l'écorce terrestre. De là une seconde influence des roches encaissantes, relative, non plus comme ci-dessus à leurs affinités chimiques, mais à leurs qualités physiques. A cet égard, on peut formuler cet important énoncé : *Les parties riches sont ordinairement encaissées par le terrain de dureté moyenne* (***). Ces

(*) *Traité sur la science de l'exploitation des mines par théorie et pratique*, traduction de Schreiber; Paris, 1778, page 49.

(**) Moissenet, *Parties riches des filons*, p. 17. — R. W. Fox, *On mineral veins*, 1836, p. 95. — W. J. Henwood, *Metalliferous deposits of Cornwall and Devon*, 1843, p. 193. — Warington Smith, *On the mining district of Cardiganshire* (Mémoires du geological Survey, t. II, p. 667).

(***) Moissenet, *Parties riches des filons*, p. 16. — Henwood, *Annales des mines*, 7e sér., t. II, p. 171.

bancs reçoivent pour cette raison le nom de *bonnes couches*, et les autres celui de *mauvaises couches*. Le filon s'y partage en bandes ou *cannelures* successives que nous appellerons de même *bonnes* ou *mauvaises cannelures*.

Ces diverses lois ne sont pas, du reste, isolées les unes des autres. Elles se trouvent, au contraire, étroitement reliées par une coordination rationnelle qui a été développée avec beaucoup de jugement et de prudence par M. Moissenet. Il serait tout à fait hors de propos de rentrer ici dans ces considérations, mais il était du moins nécessaire de rappeler, pour l'intelligence de ce qui va suivre, les énoncés fondamentaux qui précèdent.

2. — La question qu'ils soulèvent est la suivante : Je considère comme donnés, d'un côté le terrain, et de l'autre le plan d'une bonne cannelure, raide et rapprochée de la direction qu'affecte en ce point le système général de soulèvement auquel on peut la rapporter. Je suppose que le plan passe de là dans une mauvaise couche qui, par sa grande dureté, le ramène complètement à elle, dans le plan déterminé par la droite d'intersection suivant laquelle il l'aborde et par la normale à la stratification. Il s'agit alors de déterminer à la fois l'orientation de cette droite d'intersection, qui détermine, d'après la troisième loi, le sens des colonnes métallifères dans les diverses cannelures, ainsi que la direction et l'inclinaison de la mauvaise cannelure. Par ce moyen nous pourrons, d'une part, apprécier les variations que subissent ces deux éléments, étroitement liés par les deux premières lois à la répartition de la richesse ; et, en outre, calculer la puissance des parties raides et riches en fonction du glissement éprouvé par le toit du filon sur le mur de ses cannelures couchées.

On peut suivre, pour cette recherche, une marche graphique ou la voie du calcul. Les procédés de la géométrie descriptive ont été déjà employés par M. Moissenet dans ses études sur le Cornwall, et, d'après sa méthode, par

M. Burthe (*) pour les filons aurifères de Gondo (Valais). C'est au contraire à la méthode analytique que se rapporte le présent travail. Parmi les trois questions que je viens d'énumérer, les relations qui font connaître les variations de direction et d'inclinaison n'ont encore été données que pour le cas particulier du plan vertical (**); celle qui exprime la puissance en fonction du glissement du toit ne l'a été que pour le cas spécial du mouvement suivant la ligne de plus grande pente, et seulement d'une manière approximative (***); enfin celle qui détermine le sens des colonnes métallifères n'a pas encore été formulée. Je me propose ici de traiter ces trois problèmes d'une manière à la fois générale et rigoureuse. Si les calculs qui m'en ont fourni les solutions restent un peu compliqués, malgré les simplifications que j'ai réussi à y apporter, il est nécessaire de remarquer que, les formules finales étant maintenant établies, leur application numérique à chaque cas particulier sera au contraire simple et rapide.

§ II.

ORIENTATION DES COLONNES MÉTALLIFÈRES.

3. — Dirigeons l'axe ox vers le nord, oy vers l'est, oz vers le zénith. Nous compterons les inclinaisons i de zéro à 90° au-dessous de l'horizon, en supposant essentiellement que *les plans plongent de droite à gauche quand on regarde suivant la direction.* A cet effet, nous laisserons varier de zéro à 360° l'angle d que cette direction fait avec le nord. De cette manière, si un plan, envisagé d'un

(*) Burthe, *Annales des mines*, 7ᵉ sér., t. VIII, p. 199.
(**) Moissenet, *Parties riches des filons*, p. 119.
(***) *Ibidem*, p. 62.

certain côté, plonge à droite, il suffira d'augmenter ou de diminuer de 180° cette direction pour rentrer dans la convention précédente.

L'équation d'un tel plan est la suivante :

$$(1) \qquad x \sin d - y \cos d + z \operatorname{cotang} i = 0.$$

En effet, d'une part le cosinus de l'angle formé avec le plan horizontal a pour expression

$$\frac{\operatorname{cotang} i}{\sqrt{\sin^2 d + \cos^2 d + \operatorname{cotang}^2 i}},$$

ou, en réduisant : $\cos i$. En second lieu, on a pour la trace horizontale

$$z = 0, \qquad x \sin d - y \cos d = 0,$$

c'est-à-dire la droite $y = x \operatorname{tang} d$, qui fait avec l'axe ox l'angle d. D'après les conventions précédentes, $\operatorname{cotang} i$ est essentiellement positif, tandis que $\cos d$, et même $\sin d$, peuvent prendre des signes quelconques.

Considérons la relation (1) comme représentant la stratification. Désignons de même par j et par $d + \delta$ l'inclinaison et la direction d'une cannelure, provisoirement quelconque, du filon, en marquant par δ l'angle horizontal du terrain et du filon, compté du premier vers le second, dans le sens qui va du nord vers l'est. Le filon sera de son côté représenté par la relation

$$(2) \qquad x \sin(d + \delta) - y \cos(d + \delta) + z \operatorname{cotang} j = 0.$$

L'ensemble de ces deux équations, que l'on peut mettre sous la forme

$$\frac{x}{\operatorname{cotg} i \cos(d+\delta) - \operatorname{cotg} j \cos d} = \frac{y}{\operatorname{cotg} i \sin(d+\delta) - \operatorname{cotg} j \sin d} = \frac{z}{\sin \delta},$$

fournit la droite d'intersection des deux plans, ou l'orientation des colonnes de richesse. Pour la déterminer dans l'espace d'une manière pratique, nous évaluerons son plongement θ au-dessous du plan horizontal. Le cosinus de

l'angle que fait cette droite avec oz, c'est-à-dire sin θ, s'exprime par la formule

$$\sin\theta = \frac{\sin\delta}{\sqrt{[\operatorname{cotg} i \cos(d+\delta) - \operatorname{cotg} j \cos d]^2 + [\operatorname{cotg} i \sin(d+\delta) - \operatorname{cotg} j \sin d]^2 + \sin^2\delta}},$$

ou, en réduisant

$$(3) \qquad \sin\theta = \frac{\sin\delta \sin i}{\sqrt{\sin^2\delta + (\operatorname{cotang} j \sin i - \cos\delta \cos i)^2}},$$

4. — Le minimum de θ a lieu dans deux cas. D'abord pour $i = 0$, c'est-à-dire dans le cas d'un terrain en place. En second lieu, pour $\delta = 0$, c'est-à-dire lorsque le filon et la stratification ont la même direction. On a dans cette hypothèse $\theta = 0$, et les zones de richesse prennent la disposition horizontale, connue sous le nom de *courses of ore*.

Quant au maximum, nous remarquerons que si l'on se donne le terrain et la direction du filon, c'est-à-dire i et δ, θ croît avec j. Les colonnes se redressent donc en même temps que le filon. Si celui-ci devient tout à fait vertical, pour $\operatorname{cotang} j = 0$, on obtient le maximum θ_0 :

$$(4) \qquad \sin\theta_0 = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\operatorname{cotang}^2 i}{\sin^2\delta}}}.$$

Actuellement si, continuant à nous donner le terrain, et par suite i, nous faisons pivoter le plan de fracture autour de la verticale, on voit que le maximum θ_1 de θ_0 correspond à celui de sin δ, c'est-à-dire à $\delta = 90°$. Les colonnes se redressent donc encore à partir de la situation pour laquelle le filon et la stratification ont la même horizontale jusqu'à ce que leurs directions deviennent rectangulaires, ainsi par conséquent que les deux plans eux-mêmes. A ce moment, la formule (4) donne, comme cela est du reste évident *a priori*

$$(5) \qquad \theta_1 = i.$$

5. — On peut aussi déterminer l'orientation des colonnes OC (Pl. XVI, *fig.* 4) au moyen de l'angle qu'el les forment, dans le plan même du filon, avec son horizontale OB. Ces deux droites, si on leur adjoint la projection horizontale OA de la première, constituent un trièdre rectangle dans lequel la trigonométrie sphérique fournit la relation

$$\sin a = \frac{\sin b}{\sin B},$$

c'est-à-dire

$$\sin \Theta = \frac{\sin \theta}{\sin j},$$

ou enfin (3)

$$(6) \quad \sin \Theta = \frac{\sin \delta \sin i}{\sqrt{\sin^2 \delta \sin^2 j + (\sin i \cos j - \cos i \sin j \cos \delta)^2}}.$$

Dans le cas du filon vertical Θ_0 et Θ_1 ne se distinguent pas de θ_0 et de θ_1.

§ III

DÉVIATION DE LA DIRECTION.

6. — Supposons maintenant que, la formule (1) continuant à représenter le plan de joint des bancs, l'équa-on (2) soit spécialement celle d'une partie raide du filon, 'est-à-dire d'une bonne cannelure, située dans une bonne couche, et proposons-nous de trouver la mauvaise cannelure qui lui succède en passant dans la mauvaise couche superposée à la première.

Ce nouveau plan sera déterminé par l'intersection (1), (2), des deux premiers et par la condition d'être perpendiculaire au plan (1). Or, tout plan conduit par cette droite a une équation de la forme

$$[x \sin d - y \cos d + z \operatorname{cotang} j] + \lambda[x \sin(d+\delta) - y \cos(d+\delta) + z \operatorname{cotang} j] = 0,$$

en représentant par λ un coefficient indéterminé. La con-

dition de perpendicularité de ce plan

$$(7) \quad \left\{ \begin{array}{l} x[\sin d + \lambda \sin(d+\delta)] - y[\cos d + \lambda \cos(d+\delta)] \\ \qquad + z(\operatorname{cotang} i + \lambda \operatorname{cotang} j) = 0, \end{array} \right.$$

avec celui de la stratification s'exprime par la relation

$$\begin{array}{l} \sin d[\sin d + \lambda \sin(d+\delta)] + \cos d[\cos d + \lambda \cos(d+\delta)] \\ \qquad + \operatorname{cotang} i(\operatorname{cotang} i + \lambda \operatorname{cotang} j) = 0, \end{array}$$

qui assigne pour λ la valeur

$$(8) \qquad \lambda = -\frac{1}{\sin i(\sin i \cos\delta + \cos i \operatorname{cotang} j)}.$$

Il va dès lors nous être facile de déterminer successivement la direction $d + \delta'$ et l'inclinaison j' de la mauvaise cannelure (7).

Nous obtiendrons la première en faisant $z = 0$, ce qui donne

$$\operatorname{tang}(d+\delta') = \frac{\sin d + \lambda \sin(d+\delta)}{\cos d + \lambda \cos(d+\delta)}.$$

Désignons par

$$(9) \qquad \Delta = (d+\delta') - (d+\delta) = \delta' - \delta,$$

la déviation que subit la direction du filon en passant de la bonne dans la mauvaise couche. On aura

$$\begin{aligned} \operatorname{tang}\Delta &= \frac{\operatorname{tang}(d+\delta') - \operatorname{tang}(d+\delta)}{1 + \operatorname{tang}(d+\delta')\operatorname{tang}(d+\delta)} \\ &= \frac{\cos(d+\delta)[\sin d + \lambda \sin(d+\delta)] - \sin(d+\delta)[\cos d + \lambda \cos(d+\delta)]}{\cos(d+\delta)[\cos d + \lambda \cos(d+\delta)] + \sin(d+\delta)[\sin d + \lambda \sin(d+\delta)]} \\ &= -\frac{\sin\delta}{\lambda + \cos\delta}, \end{aligned}$$

ou, en substituant la valeur (8) de λ :

$$(10) \qquad \operatorname{tang}\Delta = \frac{\sin\delta}{\dfrac{1 + \operatorname{cotang}^2 i}{\operatorname{cotang} i \operatorname{cotang} j + \cos\delta} - \cos\delta}.$$

7\. — Le minimum de cette déviation, $\Delta = 0$, s'obtient dans deux cas distincts. En premier lieu pour $\delta = 0$, c'est-

à-dire quand le terrain et le filon ont la même direction. Alors les trois plans se coupent suivant la même droite et leur trièdre s'évanouit. En second lieu, si l'on pose

$$\text{cotang}\, i \,\text{cotang}\, j + \cos\delta = 0.$$

condition qui correspond au cas où le filon coupe à angle droit le plan de joint. Si, en effet, nous considérons une telle fracture comme anticlinale au terrain, en renversant sa direction, c'est-à-dire en diminuant de 180° son angle de direction $d + \delta$, ce qui revient à remplacer δ par $\varepsilon + 180$, ou $\cos\delta$ par $-\cos\varepsilon$, nous formerons un trièdre rectangle ABC (Pl. XVI, *fig.* 5), dans lequel la trigonométrie sphérique nous fournit la relation

$$\cos a = \text{cotang}\, B \,\text{cotang}\, C,$$

c'est-à-dire

$$\cos\varepsilon = \text{cotang}\, i \,\text{cotang}\, j,$$

qui reproduit bien la condition précédente.

Quant au maximum, nous remarquerons que si l'on se donne le terrain et la direction du filon, c'est-à-dire i et δ, la déviation Δ croît avec j. Elle augmente donc sans cesse, pendant que le filon se redresse jusqu'à la verticale (*). A cette limite, pour cotang $j = 0$, il vient pour le maximum Δ_0 (**)

$$(11) \qquad \text{tang}\, \Delta_0 = \frac{\sin^2 i}{\text{tang}\,\delta + \dfrac{\cos^2 i}{\text{tang}\,\delta}}.$$

Si maintenant, continuant à considérer le terrain, c'est-à-dire i, comme donné, nous faisons pivoter le plan de fracture autour de la verticale à partir de la direction des

(*) Si, au contraire, on redressait le terrain par la pensée sans déranger le filon en faisant cotang $i = 0$, il viendrait $\Delta = 90 - \delta$, ce qu'il est facile de vérifier directement.

(**) C'est la formule établie et discutée par M. Moissenet en considérant directement le cas du filon vertical (*Parties riches des filons*, p. 122, formule 4 *bis*).

couches $\delta = 0$, on voit que le maximum Δ_1 de Δ_0 correspond au minimum du dénominateur, c'est-à-dire, puisque celui-ci est une somme de deux termes dont le produit est indépendant de δ, au cas de l'égalité de ces termes, qui donne

$$\text{(12)} \qquad \operatorname{tang} \delta_1 = \cos i.$$

La déviation maximum Δ_1 prend alors pour valeur

$$\text{(13)} \qquad \operatorname{tang} \Delta_1 = \frac{\sin^2 i}{2 \cos i}.$$

Quant à l'angle horizontal δ'_1 du terrain avec la mauvaise cannelure la plus déviée, nous l'obtiendrons à l'aide de la formule (9)

$$\operatorname{tang} \delta'_1 = \operatorname{tang}(\delta_1 + \Delta_1) = \frac{\operatorname{tang} \delta_1 + \operatorname{tang} \Delta_1}{1 - \operatorname{tang} \delta_1 \operatorname{tang} \Delta_1},$$

ou, en rendant à δ_1 et Δ_1 leurs valeurs précédentes :

$$\text{(14)} \qquad \operatorname{tang} \delta'_1 = \frac{1}{\cos i} = \operatorname{cotang} \delta_1.$$

§ IV

DÉVIATION DE L'INCLINAISON.

8. — Cherchons, en second lieu, l'inclinaison j' de la mauvaise cannelure. Le cosinus de l'angle de ce plan (7) avec l'horizon est fourni par la formule

$$\cos^2 j' = \frac{(\operatorname{cotang} i + \lambda \operatorname{cotang} j)^2}{[\sin \delta + \lambda \sin(d + \delta)]^2 + [\cos \delta + \lambda \cos(d + \delta)]^2 + (\operatorname{cotang} i + \lambda \operatorname{cotang} j)^2}$$
$$= \frac{(\cos i \sin j + \lambda \sin i \cos j)^2}{\lambda^2 \sin^2 i + 2\lambda(\cos i \cos j + \sin i \sin j \cos \delta) + \sin^2 j},$$

ou, en substituant à λ sa valeur (8) et faisant toutes les réductions :

$$\text{(15)} \qquad \cos j' = \frac{\sin i (\sin i \cos j - \cos i \sin j \cos \delta)}{\sqrt{1 - (\cos i \cos j + \sin i \sin j \cos \delta)^2}},$$

9. — Cette relation peut prendre la forme très simple :

$$\cos j' = \frac{\sin i \cos n}{\sin m},$$

si l'on appelle m et n les angles dièdres que le filon raide fait respectivement avec le terrain et avec le plan élevé perpendiculairement à ce dernier suivant son horizontale. En effet, la formule de trigonométrie sphérique

$$(16) \qquad \cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a,$$

donne dans le trièdre formé par le plan horizontal BOC, le joint BOA et le filon raide COA (Pl. XVI, *fig.* 6) l'équation suivante

$$\begin{aligned}\cos m &= -\cos i \cos(180 - j) + \sin i \sin(180 - j) \cos \delta \\ &= \cos i \cos j + \sin i \sin j \cos \delta,\end{aligned}$$

et dans le trièdre formé par le plan horizontal B'O'C' le filon raide C'O'A' et le plan B'O'A' mené par l'horizontale de la stratification à angle droit sur cette dernière (Pl. XVI, *fig.* 7)

$$\begin{aligned}\cos(180 - n) &= -\cos(90 - i) \cos j + \sin(90 - i) \sin j \cos \delta, \\ \cos n &= \sin i \cos j - \cos i \sin j \cos \delta.\end{aligned}$$

Cependant la formule (15) reste préférable, car elle ne renferme que les angles usuels, faciles à mesurer avec les instruments de topographie.

10. — L'inclinaison j' peut se redresser jusqu'à la verticale dans deux cas différents. D'abord si le terrain est en place, pour $\sin i = 0$, et, en second lieu, si une stratification inclinée est abordée par la bonne cannelure suivant sa ligne de plus grande pente. En effet, cette droite OC, sa projection OA et la trace OB du filon raide forment dans ce cas un trièdre rectangle suivant OA (Pl. XVI, *fig.* 8), dans lequel on a la formule connue

$$\operatorname{tang} b = \sin c \operatorname{tang} B,$$

c'est-à-dire

$$\operatorname{tang} i = \sin(90 - \delta) \operatorname{tang} j,$$

ou encore

$$\sin i \cos j - \sin j \cos i \cos \delta = 0.$$

On remarquera qu'alors les rôles sont intervertis au point de vue minéralogique, puisque la cannelure comprise dans la mauvaise couche est encore plus droite que celle qui traverse la bonne couche.

Supposons, au contraire, que ce soit dans celle-ci, comme nous l'avons envisagé pour les discussions précédentes, que le filon se redresse jusqu'à la verticale, en faisant $\cos j = 0$. Il vient alors (*)

$$(17) \qquad \cos j'_0 = \frac{\sin i \cos i \cos \delta}{\sqrt{1 - \sin^2 i \cos^2 \delta}}.$$

§ IV

RELATION DE LA PUISSANCE AU GLISSEMENT.

11. — Cherchons en premier lieu à évaluer la puissance que procurera aux parties raides d'un filon un glissement du toit sur le mur des parties couchées suivant la ligne de plus grande pente.

Désignons, à cet effet, par u le parcours effectué le long de cette droite et par p la puissance correspondante. Elle aura pour valeur

$$p = u \cos \alpha,$$

si l'on appelle α l'angle compris entre cette ligne de plus grande pente de la cannelure couchée et la normale au plan de la cannelure droite. α est également l'angle dièdre com-

(*) Ou encore

$$\operatorname{tang} j'_0 = \frac{\sqrt{\cos^4 i + \operatorname{tang}^2 \delta}}{\sin i \cos i},$$

suivant la formule qu'a donnée M. Moissenet en traitant spécialement le cas du filon vertical (*Parties riches des filons*, p. 121, formule (3).

pris entre ce dernier plan et celui qu'on élèverait perpendiculairement à la cannelure couchée suivant sa propre horizontale.

Pour le déterminer, figurons en OB, perpendiculairement au plan du tableau OPP'QQ' (Pl. XVI, *fig.* 9) la direction de la cannelure couchée : j' marque l'angle compris entre la ligne de plus grande pente OP de ce plan et sa projection horizontale OP'. Le plan auxiliaire OQ, qui lui est perpendiculaire suivant la même horizontale OB, présente donc l'inclinaison complémentaire $90 - j'$. La face AOB du trièdre ABC se trouve située dans ce plan. Traçons de même en OC la direction de la cannelure raide, située à gauche de la précédente sous l'angle de déviation Δ. La face AOC se trouve comprise dans ce plan. L'intersection OA de ces deux faces forme l'arête du dièdre cherché α. La relation (16) fournie par le triangle sphérique ABC donne dès lors

$$\cos\alpha = -\cos(90 - j')\cos j + \sin(90 - j')\sin j\cos\Delta,$$

c'est-à-dire

$$(18) \qquad \cos\alpha = \sin j\cos j'\cos\Delta - \cos j\sin j'.$$

Il suffira de reporter dans cette formule les valeurs connues (10) et (15) de Δ et de j'.

Cette substitution se fera numériquement dans chaque cas. Il serait facile, du reste, de l'effectuer analytiquement. Mais cette transcription étant compliquée, je me bornerai à l'indiquer pour le cas du filon vertical. L'équation précédente (18) se réduit alors à

$$\cos\alpha_0 = \cos j'_0 \cos\Delta_0.$$

On a d'abord en transformant la formule (17)

$$\cos j'_0 = \frac{\sin i\cos i}{\sqrt{\cos^2 i + \tang^2\delta}},$$

et, d'après (11)

$$\cos^2\Delta_0 = \frac{1}{1 + \tang^2\Delta_0} = \frac{(\cos^2 i + \tang^2\delta)^2}{(\cos^2 i + \tang^2\delta)^2 + \sin^4 i\tang^2\delta}$$

Il s'ensuit

$$\cos^2\alpha_0 = \frac{\sin^2 i \cos^2 i\,(\cos^2 i + \text{tang}^2\delta)}{(\cos^4 i + \text{tang}^2\delta)(1 + \text{tang}^2\delta)},$$

ou enfin

$$(19) \qquad \left(\frac{p}{u}\right)_0 = \sin i \cos i \sqrt{\frac{1 - \sin^2 i \cos^2\delta}{\cos^4 i + \text{tang}^2\delta}}.$$

12. — Si, au lieu de rattacher la puissance p au glissement u, on la rapporte à la hauteur de chute verticale h, il suffira de remplacer u par sa valeur

$$u = \frac{h}{\sin j'},$$

et le rapport deviendra (18)

$$(20) \qquad \frac{p}{h} = \frac{\cos\alpha}{\sin j'} = \sin j \,\text{cotang}\, j' \cos\Delta - \cos j.$$

Cette formule permettra de prévoir la puissance p que pourrait produire une chute h du toit, ou, inversement, d'apprécier ce qu'a dû être originairement cette dernière, en une ou plusieurs fois, s'il y a eu des réouvertures, en effectuant la mesure directe de la puissance p, si elle présente une régularité suffisamment caractérisée.

On aura en particulier pour le plan vertical (*)

$$(21) \qquad \left(\frac{p}{h}\right)_0 = \text{cotang}\, j'_0 \cos\Delta_0.$$

(*) M. Moissenet a établi pour les filons très raides (*Parties riches des filons*, page 63) la formule approximative

$$\frac{p}{h} = \frac{\text{tang}(j - j')}{\sin j},$$

A la limite elle donnerait, avec des inclinaisons j tout à fait verticales :

$$\left(\frac{p}{h}\right)_0 = \text{cotang}\, j'_0.$$

Le rapport d'approximation est donc alors (21) $\cos\Delta_0$, et tant que Δ_0 est un petit angle, on voit que cette formule reste en effet très approchée.

13. — Supposons, en second lieu, que, sous l'influence de poussées longitudinales, le toit éprouve un rejet horizontal égal à v, suivant la direction des cannelures couchées. Le filon s'ouvrira encore dans ses parties raides par ce mouvement, et il y a lieu de calculer la puissance q qui prendra ainsi naissance. Elle aura de même pour valeur

$$q = v \cos \beta,$$

si β marque l'angle compris entre la direction des parties couchées et la normale des cannelures raides. Si, à ces deux droites, OB et OC on adjoint la direction OA de ces dernières cannelures (Pl. XVI, *fig.* 10) on formera un trièdre qui donnera par la formule fondamentale de la trigonométrie sphérique

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos \mathrm{A},$$
$$\cos \beta = \cos \Delta \cos 90° + \sin \Delta \sin 90° \cos (90 - j),$$

c'est-à-dire

$$\cos \beta = \sin \Delta \sin j, \tag{22}$$

formule dans laquelle il suffira de substituer pour Δ la valeur (10).

Je me contenterai encore d'effectuer cette substitution pour le cas du filon vertical $\sin j_0 = 1$. Il vient alors (11)

$$\cos^2 \beta_0 = \frac{\operatorname{tang}^2 \Delta_0}{1 + \operatorname{tang}^2 \Delta_0} = \frac{\sin^4 i \operatorname{tang}^2 \delta}{(\operatorname{tang}^2 \delta + \cos^2 i)^2 + \sin^4 i \operatorname{tang}^2 \delta},$$

ou, en réduisant

$$\left(\frac{q}{v}\right)_0 = \frac{\sin^2 i \sin \delta}{\sqrt{\operatorname{tang}^2 \delta + \cos^4 i}}. \tag{23}$$

14. — En général les deux rejets coexistent. On en pourra parfois être averti par l'orientation des stries du mur de la fracture ou de certains miroirs de filons (*).

(*) Daubrée, *Études synthétiques de géologie expérimentale*, p. 341. — Zeiller et Henry, Filons métallifères du district de Schemnitz (*Annales des mines*, 7e sér., t. III, p. 328 et 347).

Décomposons dans ce cas le glissement oblique w suivant les directions du nord, de l'est et du zénith, en ξ, η, ζ, qui représenteront les coordonnées de son extrémité. La puissance r sera marquée par la distance de ce point au plan du filon raide représenté par l'équation (2). Elle aura donc pour valeur :

$$r = \frac{\xi \sin(d+\delta) - \eta \cos(d+\delta) + \zeta \operatorname{cotang} j}{\sqrt{\sin^2(d+\delta) + \cos^2(d+\delta) + \operatorname{cotang}^2 j}},$$

ou, en réduisant :

$$r = \sin j[\xi \sin(d+\delta) - \eta \cos(d+\delta)] + \zeta \cos j.$$

Si donc nous appelons φ, ψ, χ les angles que font les stries avec les axes coordonnés, on pourra écrire, en divisant les deux membres par w

$$(24) \quad \frac{r}{w} = \sin j[\cos\varphi \sin(d+\delta) - \cos\psi \sin(d+\delta)] + \cos\chi \cos j.$$

On aura en particulier pour le cas du filon vertical :

$$(25) \qquad \left(\frac{r}{w}\right)_0 = \cos\varphi \sin(d+\delta) - \cos\psi \cos(d+\delta).$$

NOTE
SUR LE PROFIL D'ÉQUILIBRE
DES TRACTIONS MÉCANIQUES EN RAMPE

Par M. HATON DE LA GOUPILLIÈRE,
Ingénieur en chef des mines,
Professeur d'exploitation à l'École supérieure des mines.

---

1. — La fonction la plus ordinaire des plans inclinés, si usités dans l'intérieur des mines et à leurs abords, consiste à descendre les charges de minerai, en opposant par des moyens convenables les poids morts des véhicules les uns aux autres, de manière à n'avoir à se préoccuper que du travail du poids utile, que l'on use au frein. Il importe d'après cela assez peu, en général, qu'à ces éléments constants s'ajoute le poids variable du câble, tant qu'il ne s'agit que de destruction de travail.

Mais la question change de face, quand on envisage une traction mécanique destinée à remonter sur une rampe, par l'action d'un moteur, les matières fournies par une exploitation en vallée. Ce phénomène ne diffère que par des nuances secondaires de celui de l'extraction verticale. La perturbation apportée dans le jeu du moteur par la variation du poids du câble, peut donc y prendre, dans certains cas, une importance du même ordre, et l'on a dû songer alors à régulariser cette action.

Une première idée consiste naturellement dans l'emploi de moyens calqués sur ceux qui servent pour l'extraction verticale, en les appropriant aux conditions du plan incliné. On en pourrait, en effet, citer des exemples, non seulement pour la traction mécanique en rampe, mais même pour la descente automotrice, comme aux grands plans de Saint-Pierre d'Allevard, du Chayla (Isère), de Saint-Georges d'Hurtières (Savoie), etc. Mais tel n'est pas l'objet de cette note.

Un second moyen, bien différent, consiste à creuser en courbe la voie, qui ne conservera plus qu'en raison de l'habitude le nom de *plan incliné*, en lui donnant un profil d'équilibre tellement choisi, que les variations de poids du câble soient compensées par des variations correspondantes dans la pente et, par suite, dans les composantes tangentielles du poids mort et du poids utile à chaque instant. M. le professeur Julius von Hauer vient de donner une solution remarquable de ce problème (*). Il a établi des formules qui expriment à la fois l'abscisse et l'ordonnée, en fonction de la pente et de deux constantes dont les valeurs sont fournies par l'élimination de deux équations transcendantes. On peut ainsi construire le profil par points et tangentes. M. de Hauer a déduit en outre de ses équations cette conséquence intéressante que la courbe cherchée n'est autre que la cycloïde.

L'élégance de ce résultat m'a engagé à chercher, de cette proposition, une démonstration directe et simple, qu'il ne sera peut-être pas inutile de placer sous les yeux des lecteurs des *Annales*, ne fût-ce que pour appeler leur attention sur l'important travail du savant professeur de l'Académie des mines de Leoben.

(*) *Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch der k. k. Bergakademien zu Leoben*, t. XXXI.

2. — On sait que la tangente et la normale en un point M d'une cycloïde (Pl. XVI, *fig.* 11) s'obtiennent en le joignant aux points le plus bas T, et le plus haut N, du cercle générateur. De plus l'arc $s = SM$, compté à partir du sommet S, est égal au double de la longueur MT de la tangente. On a d'après cela

$$s = 4R \sin\alpha, \tag{1}$$
$$ds = 4R \cos\alpha\, d\alpha, \tag{2}$$

en appelant R le rayon du cercle générateur et α l'inclinaison de l'extrémité de l'arc. Tels sont les seuls emprunts que nous ayons besoin de faire à la théorie de cette courbe.

Imaginons maintenant que l'on place en un point arbitraire du profil cycloïdal une poulie M'_0, sur laquelle passe un câble de longueur quelconque M'_0M_0. Les chariots qui sont attachés à ses deux extrémités occuperont, à chaque instant, des positions conjuguées M et M' satisfaisant à la condition

$$MM_0 = M'M'_0.$$

Les deux brins M'_0M et M'_0M' du câble traînant varieront donc continuellement de deux longueurs égales

$$MM_1 = M'M'_1,$$

mais en sens contraires, pour passer des positions actuelles M et M' à d'autres infiniment voisines M_1 et M'_1. On aura d'après cela à chaque instant

$$s + s' = \text{const.} = s_0 + s'_0, \tag{3}$$

c'est-à-dire (1)

$$\sin\alpha + \sin\alpha' = \frac{s_0 + s'_0}{4R}, \tag{4}$$

et, en différentiant

$$\cos\alpha'\, d\alpha' = -\cos\alpha\, d\alpha, \tag{5}$$

Cela posé, appelons p le poids du chariot vide, et P celui du minerai. Le poids vertical $P+p$ du wagon plein M a pour composante tangentielle $(P+p)\sin\alpha$. Celle-ci gagne donc en arrivant en M_1 une augmentation de valeur marquée par sa différentielle $(P+p)\cos\alpha\, d\alpha$. En même temps, la composante tangentielle $p\sin\alpha'$ du poids p du wagon vide varie, en descendant en M', de la quantité $p\cos\alpha' d\alpha'$, c'est-à-dire, d'après la condition (5) qui relie deux points conjugués : $-p\cos\alpha d\alpha$. Comme du reste elle agit sur la poulie par un moment de sens contraire, on peut dire en d'autres termes que le moment total gagne encore $p\cos\alpha d\alpha$. L'ensemble des deux variations forme donc la somme

$$(P+2p)\cos\alpha\, d\alpha. \qquad (6)$$

En ce qui concerne le câble, le grand brin $M'_0 M$, en se raccourcissant de MM_1 ou ds, fait disparaître le poids $\varpi\, ds$ de cet élément (si ϖ désigne le poids du câble par unité de longueur), c'est-à-dire (2) : $4\varpi R\cos\alpha d\alpha$. La composante tangentielle correspondante est $4\varpi R\cos\alpha d\alpha\sin\alpha$ ou, d'après (1) : $\varpi s\cos\alpha\, d\alpha$. D'un autre côté la composante relative au petit brin varie de même de $\varpi s'\cos\alpha' d\alpha'$, c'est-à-dire (5) : $-\varpi s'\cos\alpha\, d\alpha$. Mais comme ce brin agit encore sur la poulie par un moment de sens contraire, on peut dire que le moment total perd aussi $\varpi s'\cos\alpha\, d\alpha$. L'ensemble de ces deux pertes forme donc la somme :

$$\varpi(s+s')\cos\alpha\, d\alpha,$$

ou, d'après (3)

$$\varpi(s_0+s'_0)\cos\alpha\, d\alpha. \qquad (7)$$

Si maintenant on compare les parties gagnées ou perdues (6) et (7), on voit qu'elles sont toutes deux proportionnelles à $\cos\alpha\, d\alpha$. Il suffit donc pour que ces variations se fassent mutuellement équilibre à chaque instant, d'établir

entre les constantes la condition.

$$s_0 + s'_0 = \frac{P + 2p}{\varpi}. \qquad (8)$$

Elle peut s'interpréter en ce que le poids par mètre du câble doit être tel que le poids total $P + 2p$ des trains et du minerai soit égal au poids effectif d'un câble qui, passant sur une poulie placée au sommet S de la cycloïde, aboutirait aux extrémités M_0 et M_0' de la rampe considérée M_0M_0'.

Le théorème se trouve ainsi démontré et nous reconnaissons que la cycloïde est bien une courbe d'équilibre.

3. — Nous pouvons de même obtenir très simplement les formules données par M. de Hauer pour permettre dans chaque cas de construire effectivement par points et tangentes le profil cherché, qui devra joindre deux points donnés à l'avance M_0 et M_0'.

Nous avons d'abord, d'après (4) et (8)

$$\sin\alpha + \sin\alpha' = \frac{P + 2p}{4\varpi R},$$

et, en particulier, pour les extrémités M_0, M_0' du parcours

$$\sin\alpha_0 + \sin\alpha'_0 = \frac{P + 2p}{4\varpi R}. \qquad (9)$$

Il vient pour l'expression de l'ordonnée

$$y = MP = MT\sin\alpha = \frac{s}{2}\sin\alpha,$$

c'est-à-dire (1)

$$y = 2R\sin^2\alpha, \qquad (10)$$

ou encore

$$y = R(1 - \cos 2\alpha), \qquad (11)$$

Si l'on applique cette formule aux extrémités, en appelant H la dénivellation OM'_0 qui les sépare, on aura (10)

$$H = 2R(\sin^2\alpha'_0 - \sin^2\alpha_0),$$

d'où l'on déduit d'après (9)

$$(12) \qquad \sin\alpha'_0 - \sin\alpha_0 = \frac{2\varpi H}{P+2p}.$$

Il vient de même pour l'expression de l'abcisse :

$$x = SP = SA - AT + TP = CB - BN + LM$$
$$= \frac{1}{2}\,\text{circ.} - \text{arc}\,NM + \frac{s}{2}\cos\alpha$$
$$= \text{arc}\,TM + 2R\sin\alpha\cos\alpha,$$

ou enfin

$$(13) \qquad x = R(2\alpha + \sin 2\alpha).$$

Si l'on applique cette formule aux extrémités, en appelant K la distance horizontale OM_0 qui les sépare, il viendra

$$K = R(2\alpha'_0 + \sin 2\alpha'_0 - 2\alpha_0 - \sin 2\alpha_0),$$

ou, en remplaçant R d'après l'équation (9)

$$(14) \qquad \frac{2\alpha'_0 + \sin 2\alpha'_0 - 2\alpha_0 - \sin 2\alpha_0}{\sin\alpha_0 + \sin\alpha'_0} = \frac{4\varpi K}{P+2p}.$$

Les formules (11) et (13), exprimant les coordonnées x et y en fonction du paramètre variable 2α, permettront de construire le profil par points; et la connaissance de α y joindra la tangente. R s'y trouve en effet déterminé par la condition (9), en fonction des inconnues α_0 et α_0'; et celles-ci sont elles-mêmes fournies par les équations transcendantes (12) et (14), en fonction des données, H, K, P, p, ϖ.

Ces constantes une fois connues, il sera commode de transporter l'origine en O, de manière à réduire à la moindre étendue possible OM_0M_0' l'épure du tracé $M_0M'_0$. On aura pour cela les formules

$$X = OQ = x'_0 - x,$$
$$Y = MQ = y - y_0,$$

c'est-à-dire

$$X = R(2\alpha'_0 + \sin 2\alpha'_0 - 2\alpha - \sin 2\alpha),$$
$$Y = R(\cos 2\alpha_0 - \cos 2\alpha).$$

Pour se faire une idée réelle de ce que seront ces cycloïdes dans la pratique, il faut remarquer que dans la formule (9)

$$2R = \frac{P + 2p}{2\varpi(\sin \alpha_0 + \sin \alpha'_0)}.$$

il ne sera pas rare de voir la somme $P + 2p$ des poids du train plein et du train vide atteindre 2 tonnes, le poids ϖ du câble par mètre se tenir aux environs de 1 kilogramme, ainsi que les angles α_0 et α_0' de part et d'autre de 30°, et par suite la somme de leurs sinus dans le voisinage de l'unité. Dans ces conditions, la hauteur 2 R de la cycloïde deviendra environ 1 kilomètre. La courbure y sera cependant appréciable, puisqu'on en utilisera des arcs dont les projections verticale et horizontale se compteront quelquefois par centaines de mètres; mais elle restera néanmoins, en général, peu importante et des modifications légères de la voie rectiligne suffiront à équilibrer des poids considérables les uns par rapport aux autres, ce qui donne à cette solution beaucoup de valeur.

TRAITEMENT DU CUIVRE

DANS L'APPAREIL BESSEMER

Par L. GRUNER. (*)

Depuis de longues années, la métallurgie du cuivre n'a subi que de faibles modifications et n'a fait que des progrès sans grande importance.

La méthode galloise, telle que l'a si minutieusement décrite M. Leplay, la méthode suédoise, que MM. Rivot et Percy ont fait connaître, n'ont guère changé depuis trente ou quarante ans.

Les principes de fabrication sont restés les mêmes; mais les fours ont été agrandis et surtout l'utilisation des produits du grillage pour la fabrication de l'acide sulfurique est devenue de plus en plus générale.

La consommation de combustible a peu diminué et pour les minerais pauvres reste toujours considérable (15 à 18 tonnes par tonne de cuivre).

(*) Cette note était le travail auquel M. Louis Gruner travaillait dans les derniers jours de sa vie.

Il avait suivi avec le plus grand intérêt les recherches de M. Pierre Manhès, et les avait conseillées, soit de loin par lettres, soit de près dans ses différents séjours à l'usine d'Eguilles.

La rédaction, ébauchée par M. L. Gruner, a été complétée et revue par son fils. E. G.

La main-d'œuvre est coûteuse par suite de la multiplicité des opérations successives.

Aussi ne voyons-nous d'usines à cuivre importantes que dans les pays où le combustible (houille ou bois) est à très bas prix; le traitement des minerais pauvres n'a pu se maintenir que dans les pays comme la Suède et l'Oural, où le bois n'a qu'une faible valeur et où la main-d'œuvre est peu payée.

En Angleterre, grâce à l'importation de quantités considérables de minerais à teneur moyenne, l'industrie du cuivre a pu prospérer, malgré la hausse de la main-d'œuvre et la baisse du cuivre marchand, dont le prix de vente est tombé de 2.300 fr. à 1.700 fr. la tonne, par suite des vastes exploitations américaines.

En Allemagne, en Suède et en Russie, l'industrie du cuivre est beaucoup plus gravement atteinte, et pour la faire prospérer de nouveau, il faudrait pouvoir opérer des réductions notables dans les frais de fabrication.

Le prix élevé des combustibles a toujours été en France un grand obstacle à la prospérité des usines à cuivre; et, en fait, il n'y a guère que l'affinage et le raffinage des cuivres bruts qui y soient opérés.

La réussite du procédé Bessemer, c'est-à-dire l'affinage de la fonte sans emploi d'autre combustible que le silicium, le manganèse et le carbone contenus dans la fonte elle-même, a attiré depuis longtemps l'attention des ingénieurs de certaines usines à cuivre.

Plusieurs personnes se sont demandé, il y a plusieurs années déjà, si le même procédé ne pourrait pas s'appliquer au traitement des matières cuivreuses? De même qu'au haut fourneau le minerai de fer est réduit à l'état de fonte, le minerai de cuivre est aussi ramené par une simple fusion, dite fonte crue, en un composé sulfuré brut, formé de cuivre, de fer et de soufre. Dans les deux opérations, on sépare les métaux d'avec les gangues et

dans les deux opérations les produits principaux sont analogues; d'un côté, c'est un carbure et siliciure de fer et de manganèse; de l'autre un sulfure de fer et de cuivre. Or, si l'on peut, par la simple action du vent, se débarrasser du silicium, du manganèse et du carbone, ne doit-on pas pouvoir enlever aussi, de la même manière, le soufre et le fer, puisque ces deux éléments sont plus oxydables que le cuivre?

Au premier abord, rien ne semblerait devoir être plus facile; et pourtant les essais tentés en Angleterre par M. Holway, et par d'autres, il y a quelques années, n'ont pas réussi.

C'est qu'au fond, malgré l'analogie apparente, les circonstances sont, de part et d'autre, assez différentes.

Dans le cas de la fonte de fer, les éléments à oxyder ne dépassent pas 9 à 10 p. 100 du poids de la fonte (*), tandis que la matte contient rarement, dans le cas le plus favorable, au delà de 50 à 60 p. 100 de cuivre, et en général, seulement 15 à 20 p. 100. — Il faut donc enlever par oxydation 40 à 50 p. 100 et souvent même 75 à 85 p. 100, puisque les mattes ordinaires ne renferment guère plus de 15 à 25 p. 100 de cuivre (**).

(*) La composition moyenne des fontes employées dans l'appareil Bessemer est :

	Par la méthode acide.	Par la méthode basique.
Si.	2,0 à 2,5	0,50 à 1,00
Mn	3,0 à 4,0	2,50 à 3,00
Carbone	4,0 à 5,0	4,00 à 4,50
Ph	»	1,50 à 2,50

(**) Par le traitement des minerais ordinaires, les mattes ont les compositions suivantes :

	Premières mattes.	Mattes riches.	Mattes blanches.
Cu	= 12,0 à 20,0	55,0 à 60,0	75,5 à 76,5
Fe.	= 60,0 à 52,0	20,0 à 15,0	1,5 à 0,5
S	= 23,0 à 26,5	24,0 à 23,5	23
Zn, Pb, etc.	5,0 à 1,50	5,0 à 1,5	»
	100	100	100

Outre cela, les éléments étrangers de la fonte, le silicium et le carbone, développent une quantité considérable de chaleur, le premier 7.800 et le second 8.000 calories, tandis que le soufre et le fer de la matte ne produisent guère plus de 2.200 et 1.500 calories. Il est vrai que la chaleur spécifique du cuivre est moindre que celle du fer, les deux tiers environ; — de plus le poids du cuivre dans la matte est bien au-dessous de la proportion du fer dans la fonte, de sorte qu'en réalité l'affinage de la matte exige moins de chaleur que l'affinage de la fonte. *A priori* donc, le procédé ne paraît pas impossible; mais on devait s'attendre à des difficultés par suite de la masse énorme de fer à oxyder et à scorifier.

M. J. Holway, après de nombreux essais tentés vers 1877 et 1878 à l'appareil Bessemer, en vint à abandonner cet appareil comme ne convenant pas à ce traitement; puis, après quelques essais dans un four à cuve, il abandonna la question.

Vers 1867, des ingénieurs russes avaient déjà essayé sans succès l'emploi de l'appareil Bessemer.

Malgré ces échecs successifs, M. Pierre Manhès, métallurgiste de Lyon, reprit la question vers 1880 dans son usine à cuivre de Védènes (Vaucluse).

Il entreprit ses premiers essais dans une petite cornue Bessemer mobile pouvant contenir une charge de 50 kilogrammes de matte. Cette cornue était disposée à la façon de l'appareil Bessemer ordinaire, avec boîte à vent à la base et tuyères verticales injectant l'air de bas en haut dans le bain métallique. M. Manhès opéra d'abord sur la matte ordinaire à 25 à 30 p. 100 de cuivre, préalablement fondue dans un creuset. Le vent était fourni par une petite soufflerie à piston. Comme on devait s'y attendre le soufre et le fer s'oxydaient rapidement; le soufre s'échappait à l'état d'acide sulfureux, et l'oxyde de fer

formait une scorie fluide avec la silice de la garniture argileuse de la cornue.

Dans les premiers moments tout allait bien; la chaleur développée par la combustion du fer et du soufre suffit pour maintenir la fluidité du bain métallique et de la scorie ferrugineuse. Mais les difficultés survenaient vers la fin de l'opération.

D'une part, à un moment donné, très brusquement, l'allure de l'opération changeait; au brassage régulier produit par l'insufflation du vent, succédait une ébullition tumultueuse avec projections des scories. La réaction devenait si violente que mattes et scories, le tout était projeté ensemble hors de l'appareil.

D'autre part, à mesure que le soufre était brûlé, le cuivre métallique, plus dense que la matte, gagnait le fond de la cornue et s'y refroidissait par suite de la disparition des éléments combustibles. Les tuyères s'obstruaient graduellement par la solidification du cuivre métallique, ce qui obligeait de couler le métal avant épuration complète de la partie haute du bain. Là on retrouvait constamment un reste de matte, moins dense et plus fusible que le cuivre pur.

On a multiplié et varié les essais avec des mattes à teneurs variables en fer et cuivre; mais aussi longtemps que l'on fit usage de la cornue Bessemer proprement dite, avec ses tuyères verticales, les difficultés furent les mêmes. Il fallut toujours arrêter l'opération avant le départ complet du fer et du soufre. C'est, sans doute, aussi ce qui dût arriver en Angleterre, et ainsi s'explique l'insuccès des essais que l'on y avait entrepris.

M. Manhès ne se laissa pas rebuter par ce premier échec. Ayant reconnu que la principale difficulté provenait de l'action réfrigérante du vent sur le cuivre épuré, il substitua, aux tuyères verticales, des tuyères horizontales, injectant le vent dans le bain à une certaine distance au-

dessus du fond de la cornue. La boîte à vent de la base fut remplacée par une couronne circulaire creuse, enveloppant la cornue à quelques centimètres au-dessus du fond et pourvue d'une série d'orifices latéraux, injectant le vent horizontalement dans le bain métallique.

Dans l'appareil ainsi modifié, le cuivre ne se figea plus; au fur et à mesure qu'il se produisit, il tomba au-dessous de la nappe de vent et s'y maintint liquide jusqu'à achèvement de l'opération. On put transformer toute la matte et produire du cuivre ne retenant que 1 et demi p. 100 de matières étrangères au maximum.

Pour parer à la difficulté provenant de l'abondance des scories ferrugineuses, on eut recours à des procédés divers, suivant la nature des mattes soumises à l'affinage. Avec des mattes riches, à la teneur de 50 à 60 p. 100 de cuivre, les scories sont peu gênantes; en ajoutant du quartz, on diminue la corrosion des parois; en introduisant dans la cornue une certaine quantité de fontes manganésées, on donne plus de fluidité aux scories, etc. Avec des mattes pauvres, la quantité de scories devient telle que, pour achever l'opération, il faut se débarrasser des scories, et au besoin même opérer en plusieurs fois.

Bref, ces essais préliminaires, poursuivis pendant une année à l'usine de Védènes, prouvèrent qu'il était non seulement *possible*, mais encore *facile* de transformer rapidement les mattes de cuivre en cuivre rouge retenant seulement 1 à 1 et demi p. 100 d'éléments étrangers.

L'application industrielle du procédé a été réalisée à l'ancienne fonderie royale d'Eguilles, près de Sorgues (Vaucluse), où l'on dispose d'une puissante chute d'eau (*). On y a installé trois demi-hauts fourneaux pour la fusion des

(*) L'usine est dirigée par M. David, ancien élève de l'École centrale, qui a conduit tous les premiers essais à l'usine de Védènes.

minerais, deux cubilots pour la refonte des mattes, et trois convertisseurs d'assez grande dimension, pour la transformation de la matte en cuivre brut. Cet atelier a été mis en marche dans les derniers mois de 1881.

Sous peu un second atelier, composé également de trois appareils, identiques aux premiers, et des fours de fusion correspondants, sera complètement installé. Actuellement avec trois appareils qui marchent à tour de rôle, la production mensuelle varie de 85 à 100 tonnes de cuivre rouge.

Le développement de la fabrication est arrêté par la difficulté très grande de se procurer des minerais de cuivre. En France, il n'existe que très peu d'exploitations de minerais de cuivre; la difficulté d'opérer la vente de petits lots de minerais a empêché jusqu'ici la mise en exploitation des gisements connus; quant aux minerais étrangers (Italie, Espagne, Asie Mineure, etc.), ils sont achetés depuis de longues années par les usines anglaises; et il est difficile d'amener les exploitants à abandonner leurs anciens acheteurs.

Peu à peu cependant, un courant d'importation s'établit vers Marseille; et tout le minerai que l'on peut se procurer est de suite traité. Tout le cuivre produit est affiné et raffiné à l'usine, dans un four d'affinage ordinaire à la houille; la production totale est laminée à l'usine de Védènes, qui le travaille sans aucune difficulté.

Les minerais employés sont des plus variables; ce sont des pyrites cuivreuses de Saint-Georges-d'Hurtières, dans la Haute-Savoie, pures mais pas très riches; des minerais riches mais impurs provenant de l'Aveyron, ou des Pyrénées; ou encore des minerais purs de Toscane, contenant de 7 à 15 p. 100 de cuivre et 30 à 40 p. 100 de fer. On a même passé des minerais contenant jusqu'à 10 à 15 p. 100 d'antimoine, comme ceux de Tadergount en Algérie.

Ces minerais sont souvent employés en mélange avec des pyrites grillées pour la fabrication de l'acide sulfurique,

avec des débris de fonderie et des cuivres de cément.

Suivant la nature chimique et l'état physique des minerais, on les fond dans des demi-hauts fourneaux de 5 mètres de hauteur, ou dans des fours à manche ne dépassant pas 2^{m},50 de hauteur.

La variabilité extrême des minerais est une des grandes difficultés de la marche actuelle; car d'un jour à l'autre on est amené à produire, soit des mattes pauvres à 20 ou 25 p. 100 de cuivre, soit des mattes riches à 45 et même 50 p. 100. L'allure de l'opération Bessemer, ses phases successives, sont très variables suivant la richesse et la composition de la matte chargée.

Quand, par un approvisionnement régulier en minerais, l'usine pourra produire des mattes à une teneur en cuivre toujours la même, la fabrication deviendra des plus simples.

Comme l'indiquent les dessins ci-joints (Pl. XVI, *fig.* 12 à 14), les cornues, dont on se sert à Eguilles, ont 1^{m},40 de diamètre intérieur et 2 mètres de hauteur totale. C'est un cylindre terminé par deux calottes sphériques : l'une pleine qui sert de réservoir pour le cuivre fondu, placé ainsi au-dessous du niveau des tuyères; l'autre percée d'un orifice muni d'un bec recourbé.

A la base de la partie cylindrique, à environ 30 centimètres au-dessus du fond, se trouve la couronne à vent circulaire, munie de 18 orifices pour l'air (Pl. XVI, *fig.* 14).

L'appareil est garni intérieurement d'un pisé formé de terre de Bollène amaigrie par du sable siliceux de Mornas. Le vent pénètre par 18 petits orifices de 1 centimètre de diamètre percés dans des briques de 20 centimètres de longueur.

La marche de l'opération diffère peu de la marche d'une opération pour fonte de fer.

La cornue, chauffée au rouge, reçoit une charge de 1.000 kilogrammes de matte fondue; on donne le vent, sous une pression de 25 à 30 centimètres de mercure, et

l'opération commence comme dans une usine à acier. La température s'élève rapidement; des vapeurs sulfureuses blanches, épaisses, se dégagent dans une gaîne qui est en relation avec une grande cheminée de 50 mètres de hauteur. Après 15 à 20 minutes de soufflage, durée variable d'ailleurs d'après la richesse de la matte, les fumées s'éclaircissent. Si ce sont des mattes pauvres, il faut couler rapidement, sans cela une réaction tumultueuse se produit, et les projections deviennent subitement considérables.

Avec les mattes riches, l'opération se termine sans difficulté et on obtient du cuivre à 98 ou 99 p. 100 et des scories à 3 et 5 p. 100, qui sont repassées au four à cuve.

Dans le même appareil on ne pouvait à l'origine faire que 10 à 12 opérations au maximum; et souvent même après 7 ou 8 opérations la garniture était complètement corrodée.

Actuellement avec les mêmes mattes on est arrivé à faire régulièrement 15 à 16 et souvent 18 opérations. Le tout est d'empêcher les scories très ferrugineuses d'attaquer trop fortement les parois.

Comme pour la fabrication de l'acier par le procédé basique, le principe était connu; mais il fallait arriver par des détails, souvent d'apparence très secondaire, à préparer économiquement une garniture solide et à la préserver le mieux possible contre une détérioration rapide. L'expérience journalière amène encore des changements de détail dans la conduite de l'opération; mais les dispositions principales de l'atelier et de l'appareil n'ont subi depuis dix-huit mois aucune modification. On peut donc affirmer que le procédé marche dans des conditions industriellement pratiques.

On ne se contente pas, à l'usine d'Eguilles, de traiter des mattes pures; on traite aussi des mattes plus ou moins arsenicales, antimoniales, plombeuses, zincifères, stanni-

fères, etc. Tous ces éléments étrangers sont scorifiés ou volatilisés.

D'après les méthodes anciennes de traitement, on comprend le départ du plomb, du zinc et de l'étain; mais il semblerait que l'arsenic et l'antimoine devraient rester dans le cuivre. Il a été fait des opérations avec des mattes très impures : la facilité du laminage du cuivre produit a prouvé que l'arsenic et l'antimoine avaient disparu presque totalement. Il semble probable que les oxydes de ces deux corps sont entraînés mécaniquement par la masse de vent; de sorte qu'aussitôt oxydés, ils sont entraînés par le vent, sans que l'action réductrice du cuivre ait pu se produire. Le cobalt est en partie scorifié, mais il reste aussi partiellement dans le cuivre.

Quant au nickel et au bismuth, ils semblent se concentrer dans le cuivre. Le procédé Bessemer est donc insuffisant vis-à-vis de ces deux corps, qui ne peuvent d'ailleurs être complètement enlevés par aucune autre méthode actuellement en usage.

L'élimination de l'arsenic et de l'antimoine était un des faits les plus importants à bien constater, à cause de l'influence très nuisible de ces deux corps sur la qualité du cuivre marchand; des essais plusieurs fois renouvelés ont montré que les deux corps disparaissaient au moins en grande partie et que l'on obtenait un métal supportant bien le laminage et les essais ordinaires.

Le cuivre brut obtenu au convertisseur a une composition très constante et qui s'écarte peu de :

Cuivre pur	98,5 à 98,8
Soufre.	0,9 à 0,8
Fer	0,6 à 0,4
	100

A l'usine d'Eguilles, les machines sont actionnées par une puissante chute d'eau; si on devait recourir à la va-

peur pour les différentes souffleries, on consommerait de 3 à 4.000 kilogrammes de houille par 24 heures pour la production variant de 3 à 4.000 kilogrammes de cuivre (soit 100 tonnes par mois).

Pour la force motrice totale, avec cette production, on consommerait donc environ 1 tonne de houille par tonne de cuivre produit.

Pour la fusion des minerais, au demi-haut fourneau, on consomme environ 140 à 150 kilogrammes de coke par tonne de minerai rendant 10 p. 100 de cuivre; c'est donc de ce fait une consommation de 140 à 150 kilogrammes par 100 kilogrammes de cuivre brut.

Pour la refonte des mattes, le chauffage des appareils, etc., on arrive à consommer encore 50 à 60 kilogrammes de coke par 100 kilogrammes de cuivre.

En tenant compte des déchets, la consommation peut monter à 2 tonnes ou 2t 1/4 de coke, soit 3 tonnes à 3t 1/2 de houille. Enfin, pour l'affinage et le raffinage, on emploie 700 kilogrammes de houille par tonne de cuivre.

En résumé donc, en ramenant tout en houille, on consomme environ :

	kilog.
Pour la force motrice	1.000
Pour les fusions	3.000 à 3.500
Pour l'affinage	700
Soit en totalité. . . .	4.700 à 5.200

La consommation totale est donc d'environ 5.000 kilogrammes par tonne de cuivre marchand; tandis que, pour des minerais de même teneur traités par la méthode anglaise, la consommation varie de 13.000 à 16.000 kilogrammes.

La consommation de houille est ainsi réduite environ au tiers de ce qu'elle est par la méthode anglaise.

Pour un atelier produisant 100 tonnes de cuivre par

mois, le personnel, pour l'ensemble de tous les travaux, approchage des minerais, fonte crue, refonte au cubilot, opération Bessemer, coulée et manutentions diverses, ne dépasse pas 70 hommes; ce qui correspond à environ 20 journées par tonne de cuivre produit. Dans un atelier plus vaste, mieux outillé, produisant plus, ce chiffre diminuerait notablement. Car il faut remarquer qu'actuellement à Eguilles la plupart des manœuvres se font à bras (montée des minerais et mattes, mouvement des appareils, décrassage, etc.).

Les frais de préparation de la tonne de cuivre affiné ne dépassent pas, à Eguilles, 160 à 170 fr., malgré l'élévation des frais généraux et du prix du coke qui revient à 35 fr.; en Angleterre, avec un combustible à moins de moitié prix, les frais de traitement sont estimés entre 520 et 350 fr.

Si donc on se trouvait dans les mêmes conditions pour les prix des combustibles, les frais de transformation par l'affinage Bessemer ne seraient que le tiers des frais par les méthodes anciennes.

Dans les pays où l'on peut avoir recours à la force hydraulique, on trouverait dans l'emploi des moteurs naturels une nouvelle source d'économie.

En résumé, on le voit, la métallurgie du cuivre se trouve simplifiée et rendue plus économique. Au lieu de six, huit, dix opérations coûteuses, tour à tour oxydantes et réductives, faites au réverbère pour éliminer successivement le soufre, le fer et les autres éléments, le traitement se compose, dans la nouvelle méthode, uniquement d'une première fonte pour mattes, à laquelle succède directement le travail du convertisseur qui donne un métal plus pur que le cuivre brut ordinaire.

Ainsi donc le travail est finalement réduit de six ou huit opérations à trois.

Je ne veux pas dire que le procédé Bessemer modifiera la métallurgie du cuivre d'une façon aussi radicale que

celle du fer; mais on peut, en tous cas, prédire à la méthode nouvelle un fort bel avenir. La main-d'œuvre et la consommation de houille sont réduits dans une proportion telle que la plupart des usines trouveront avantage à l'adoption de cette méthode.

En France surtout, où la houille est chère, ce procéd permettra d'utiliser les minerais jusqu'à présent inexploités.

DISCOURS

PRONONCÉ AUX FUNÉRAILLES
DE M. HUYOT

INGÉNIEUR DES MINES

DIRECTEUR DE LA COMPAGNIE DES CHEMINS DE FER DU MIDI

le 2 mai 1883

Par M. Léon AUCOC, membre de l'Institut,
vice-président du conseil d'administration de la compagnie du Midi.

Messieurs, j'apporte sur cette tombe l'expression des profonds regrets que la mort prématurée de M. Huyot inspire au conseil d'administration de la Compagnie des chemins de fer du Midi.

Notre honorable président a craint que son émotion ne lui permît pas de remplir ce douloureux devoir. Je viens dire, à sa place, combien M. Huyot était digne de la haute situation qu'il occupait, quels services il a rendu et combien sa perte est sensible pour la Compagnie.

C'est depuis 1879 seulement que j'ai pu, dans une collaboration quotidienne et intime, apprécier tous les mérites de M. Huyot. Mais bien avant cette époque, dans les nombreuses occasions où les fonctions, que je remplissais alors au Conseil d'État et au Ministère des travaux publics, m'avaient appelé à négocier avec les directeurs des Compagnies de chemin de fer, j'avais remarqué son intelligence si pénétrante, son coup d'œil si prompt et si sûr et sa parole si nette et si sobre, fidèle image des qualités de son esprit et de son caractère.

Il était admirablement préparé à la grande tâche dans laquelle il a passé les dix dernières années de cette vie, trop courte, hélas! sa digne compagne et pour ses enfants, trop courte aussi pour nous.

Sorti le premier, en 1853, de cette école célèbre où se recrute le corps d'élite des ingénieurs des mines, il avait, après une mission en Asie Mineure, été attaché à la Société autrichienne des chemins de fer de l'État. Là, malgré sa jeunesse, il avait été chargé d'un service important; il avait pris une part considérable à l'organisation de l'exploitation des mines de houille, des mines de fer et des établissements métallurgiques de cette Société dans le Banat de Hongrie. Il était, en outre, mêlé à l'étude de toutes les questions relatives à l'exploitation des chemins de fer.

Lorsque, après cinq années passées dans ces fonctions si multiples, il désira, en 1859, revenir en France, l'éminent directeur général de cette Compagnie, M. Maniel, qui était un excellent chef et un excellent juge, lui rendait ce témoignage qu'il avait montré de brillantes qualités d'ingénieur et d'administrateur.

Il entra au service de la Compagnie des chemins de fer du Midi, comme ingénieur adjoint au directeur. En 1867, il était nommé sous-directeur. En 1872, il remplaçait, à la direction, l'honorable M. Surell, qu'il avait secondé avec tant de zèle depuis quatorze ans.

Ce n'est pas ici le lieu de longs discours. Je ne puis que signaler, en quelques mots, l'activité incessante, l'instruction variée et toujours prête, la sûreté de jugement dont M. Huyot a fait preuve dans ses laborieuses fonctions. Il avait, dès le début de sa carrière, contracté l'habitude de voir les choses de haut, sans négliger l'étude des détails. La construction des chemins de fer, la fabrication des rails et celle des machines, l'exploitation technique, l'établissement des tarifs, les conventions financières avec l'État, plusieurs fois remaniées par ses soins, tout lui était

familier. Aucun des points du service n'échappait à sa vigilante attention et les réformes utiles trouvaient en lui un défenseur résolu.

Dirai-je quelle justice et quelle sollicitude il apportait dans les questions intéressant le personnel, avec quel soin il pesait les mérites pour les faire récompenser, avec quelle bienveillance il cherchait à améliorer la condition des employés et des ouvriers de la Compagnie? C'est à son initiative que sont dues notamment plusieurs modifications importantes des règlements de la caisse des retraites et de la caisse de prévoyance.

Tel était l'éminent directeur qui nous est enlevé.

Un événement des plus douloureux, dont plusieurs d'entre nous savent par expérience toute l'amertume, la perte d'un fils en qui il était fier de voir revivre son intelligence et son ardeur au travail, avait, au commencement de l'année 1881, brisé le cœur de M. Huyot. Sa santé était, depuis cette époque, profondément altérée. En vain, il luttait contre le mal; il avait senti, l'année dernière, la nécessité de prendre un repos de quelques mois. A peine âgé de cinquante-deux ans, il n'abandonnait pas l'espoir de reprendre ses fonctions. Cet espoir, qu'il m'exprimait encore jeudi dernier, ne devait pas se réaliser. La mort est venue brusquement. Mais, si prompte qu'elle ait été, elle ne l'a pas surpris; les consolations de la foi chrétienne avaient fortifié son âme contre la douleur; elles ont adouci sa fin.

Adieu, cher directeur; nous ne vous oublierons pas. Vous ne laissez que de bons souvenirs et de bons exemples. On égalera difficilement votre remarquable intelligence; mais tout le monde peut et doit imiter votre inaltérable dévouement au devoir.

LES
ACCIDENTS DE GRISOU ARRIVÉS EN PRUSSE
DE 1861 A 1881

Par M. HASSLACHER, conseiller royal des mines à Berlin,
au nom de la Commission du grisou (*).

Extrait par M. G. CHESNEAU, ingénieur des mines.

A l'exemple de la commission française pour l'étude des moyens propres à prévenir les explosions de grisou, la commission prussienne du grisou a compris dans son programme une statistique méthodique des accidents occasionnés en Prusse par ce gaz, destinée à éclairer les ingénieurs sur l'importance des causes qui interviennent dans ces terribles catastrophes. Le travail de M. Hasslacher, dont nous donnons un extrait, est le résultat des recherches statistiques de la commission prussienne. Moins détaillé que le travail analogue dressé au nom de la commission française par MM. Petitdidier et Lallemand, ingénieurs au corps des mines, qui ont entrepris de donner une analyse synoptique

(*) *Die auf den Steinkohlenbergwerken Preussens in den* Iahren 1881 bis 1861, durch Schlagende Wetter veranlassten Unglücksfälle. (*Im Auftrage der Schlagwetter-Commission bearbeitet* von A. Hasslacher, Königlicher Bergrath in Berlin). — *Berg, Hütten, und Salinenwesen im Preussischen Staate*, t. XXX.

de tous les rapports officiels d'accident, le travail de M. Hasslacher n'en contient pas moins de précieuses indications sur les diverses circonstances susceptibles d'influer sur la production des accidents de grisou : il représente parfaitement, pour les accidents de la Prusse, le résumé synthétique qui doit être la conclusion du laborieux travail de MM. Petitdidier et Lallemand, déjà publié en partie dans les *Annales des mines*.

Statistique des accidents de mines de houille en Prusse et comparaison avec les autres pays.

La statistique officielle des accidents de mines en Prusse ne remonte pas au delà de 1821 ; elle ne commence à devenir détaillée qu'à partir de 1851 ; et pour les accidents des houillères en particulier, les documents officiels ne permettent d'établir de statistique sérieuse et complète que depuis 1861. En moyenne, de 1821 à 1840, les mines de houille et de lignite de la Prusse, employant annuellement 14.500 ouvriers, ont perdu 34,05 ouvriers par an, soit 2,35 sur 1.000.

De 1852 à 1881, dans une période de 30 années, les résultats statistiques de l'exploitation des mines de houille en Prusse, sont les suivants : la production s'est élevée de 4.899.771 tonnes (1852) à 43.889.410 (1881) ; la moyenne annuelle a été de 21.227.537 tonnes. Le nombre d'ouvriers annuellement employés, qui était de 36.029 en 1852, a atteint le chiffre de 162.952 en 1881 (102.452 en moyenne). Le nombre total des victimes, mortes par accidents de mines, dans cette période a été de 8.483, soit en moyenne 282,8 par an, et 2,759 sur 1.000 ouvriers annuellement employés (2,054 pour la période 1852-1860 ; 2,864 pour 1861-1870 ; 2,896 pour 1871-1880).

La proportion relative des victimes s'est donc élevée

graduellement à mesure que l'exploitation des mines s'est étendue en profondeur et que l'on a poussé l'activité de la production. Cependant, ainsi qu'il résulte du tableau dressé par année pour cette période, par M. Hasslacher, les chiffres annuels, dans la période 1871-1880, ne s'écartent pas beaucoup de la moyenne de cette décade : les améliorations dans le travail des mines et les mesures de sûreté récemment adoptées, paraissent avoir ainsi enrayé la marche ascendante des dangers de l'exploitation des mines de houille en Prusse.

Contrairement à l'opinion généralement reçue, ce n'est pas le grisou qui fait le plus de victimes. Voici, à ce point de vue, l'ordre d'importance relative de chaque cause d'accident, sur le nombre total des victimes :

Accidents par chutes de pierres ou de charbons.	38,4	p. 100
Chutes dans les puits et galeries inclinées. . .	23,1	—
Explosions de grisou	11,0	—
Asphyxie par gaz méphitiques (acide carbonique, grisou, etc.)	3,2	—
Causes diverses.	24,3	—

On voit ainsi que les explosions de grisou ne causent guère que le dixième du nombre total des victimes : sur 1.000 ouvriers, elles ont donné 0,176 victimes (tuées), de 1852 à 1860 ; 0,404 de 1861 à 1870 ; 0,280 de 1871 à 1880 et 0,374 en 1881, soit 0,304 en moyenne dans la période 1852 à 1881.

Il est intéressant de comparer ces résultats à ceux donnés par l'Angleterre, la Belgique et les autres pays de l'Europe.

En Angleterre, la quantité relative des victimes d'accidents de mines de houille a toujours été en diminuant — résultat absolument contraire à celui de la Prusse — à tel point que la moyenne de 1851 à 1860 est presque double de celle de 1871 à 1880 : sur 1.000 ouvriers il y a eu en moyenne 4,071 tués par an de 1851 à 1860 ; 3,329 de 1861

à 1870; 2,354 (2,057 sans compter l'année exceptionnelle de 1878) de 1871 à 1880. En revanche, l'importance relative des explosions de grisou est double de celle qu'elle a en Prusse : 23,1 p. 100 du nombre total des victimes y sont en effet dues au grisou (38,8 p. 100 aux chutes de pierres et de charbon, 15,6 aux chutes dans les puits, 22,5 à des causes diverses).

En Belgique, les résultats sont analogues à ceux de la Grande-Bretagne : le nombre relatif des victimes tend à diminuer (3,229 sur 1.000 de 1851 à 1860; 2,776 de 1861 à 1870; 2,414 de 1871 à 1879 : 2,762 en moyenne); l'importance relative des accidents de grisou est plus grande qu'en Prusse (14,3 p. 100).

Le tableau suivant donne une comparaison intéressante entre les divers Etats de l'Europe dans la période 1871-1880 :

ÉTATS.	EXTRACTION. — Tonnes.	NOMBRE total d'ouvriers employés annuellement.	NOMBRE d'ouvriers tués		NOMBRE d'ouvriers tués pour 1 million de tonnes extraites		NOMBRE d'ouvriers tués sur 1.000.		[illegible]
			en tout.	par explosion de grisou.	en tout.	par explosion de grisou.	en tout.	par explosion de grisou.	
Prusse	337.650.224	1.511.892	4.379	424	12,97	1,26	2,896	0,280	[illegible]
Grande-Bretagne	1.329.961.005	4.821.832	11.349	2.686	8,53	2,02	2,354	0,557	[illegible]
Belgique (1871-79)	133.465.453	929.034	2.243	426	16,80	3,19	2,414	0,459	[illegible]
France [1]	167.744 966	1.036.801	2.296	513	13,69	3,06	2,214	0,495	[illegible]
Autriche (1875-80) [2]	30.716.277	216.797	457	61	14,88	1,99	2,108	0,281	[illegible]
Saxe [3]	31.064.368	125.383 (156.729)	532	161	17,09	5,19	4,243 (3,394)	1,284 (1,027)	[illegible]

[1] D'après la *Statistique de l'industrie minérale*, les chiffres indiqués concernent les mines de houille, d'anthracite et de lignite.

[2] D'après le *Statistisches Iahrbuch des K. K. Ackerbau-Ministeriums*.

[3] D'après la statistique dressée par la Commission du grisou instituée pour le royaume de Saxe: *Nachweisung und Statistik der zu Kenntniss der Königl. Bergpolizeibehörde gelangten Schlagwetter[illegible] beim Sächsischen Steinkohlen bergbau*, Freiberg, 1881. — Dans cet ouvrage le nombre des ouvriers indiqué se rapporte aux ouvriers *du fond*; ces nombres ont été majorés de 25 p. 100 pour rendre les résultats comparables aux autres pays; ces nombres majorés sont placés entre crochets.

Il résulte de ce tableau que, à part la Saxe, dont quelques grands accidents, exceptionnels pour son peu d'importance, ont doublé les moyennes, — c'est en *Prusse que l'exploitation de la houille offre relativement le plus de dangers.* Par rapport au tonnage extrait, le résultat lui est plus favorable. *En ce qui concerne l'importance relative des accidents de grisou, c'est la Prusse qui occupe le meilleur rang.*

Statistique spéciale des accidents de grisou.

Les matériaux utilisés par M. Hasslacher pour son travail de statistique, ont été puisés dans les procès-verbaux officiels d'accidents constatés de 1861 à 1881, rassemblés par les soins de la *Commission pour la recherche et l'examen des mesures de sécurité contre le grisou.*

Malgré le nombre considérable des accidents analysés (1.300 en tout), cette collection n'est pas encore complète, surtout en ce qui concerne les accidents non suivis de mort, dont les procès-verbaux ne répondent pas toujours aux questions qu'il importe d'élucider en pareil cas. Aussi M. Hasslacher a-t-il divisé son travail en deux parties, l'une concernant les accidents suivis de mort, l'autre concernant les accidents non suivis de mort, celle-ci offrant moins de certitude et de rigueur que la première. Il a fait d'ailleurs un chapitre spécial des accidents de grisou où ce gaz a agi non par explosion ou inflammation, mais par simple asphyxie : bien qu'assez fréquents dans les mines grisouteuses, surtout mal ventilées, ce dernier genre d'accidents n'occasionne qu'exceptionnellement la mort des victimes, et leur importance est tout à fait secondaire par rapport aux accidents par explosion.

I. — Accidents par explosion de grisou.

§ 1. — *Accidents suivis de mort.*

Le tableau suivant donne la répartition des 340 accidents mortels constatés, par bassin houiller, avec la production en tonnes et le nombre total d'ouvriers employés annuellement.

BASSINS HOUILLERS.	POIDS extrait de 1861 à 1881 en tonnes.	SOMME des ouvriers employés annuellement. 1861 à 1881.	NOMBRE d'explosions.	NOMBRE des mines ayant eu des explosions.	NOMBRE des victimes		
					tuées.	blessées.	Total.
Haute-Silésie	135.032.368	525.985	»	»	»	»	»
Basse-Silésie	36 593.422	186.530	20	6	38	22	60
Wettin et Löbejün . . .	1.157.827	8.214	2	1	3	3	6
Hartz méridional (Hohnstein).	167.665	1.597	»	»	»	»	»
Gîtes du Nord de l'Allemagne (formation wealdienne).	7.356.496	59.716	5	4	30	32	62
Ibbenbüren	3.510.566	24.409	»	»	»	»	»
Bas-Rhin-Westphalie (Ruhr)	284.910.617	1.250.420	258	81	636	322	958
Aix-la-Chapelle	19.513.026	113.029	18	8	48	35	83
Sarrebrück	77.353.412	402.344	37	9	91	52	143
Total pour la Prusse (1861-81).	565.595.399	2.572.244	340	109	846	466	1.312

On voit d'après ce tableau que l'on a en moyenne :

	Pour une explosion.	Pour un ouvrier tué.
Une extraction de.	1.663.516 tonnes	668.522 tonnes
Un nombre d'ouvrier de.	7.555	3.036

ou encore que l'on a :

	Pour 1 million de tonnes.	Sur 1.000 ouvriers.
Explosions.	0,60	0,132
Ouvriers tués	1,49	0,329

En Angleterre (1861 à 1880) et en Belgique (1861 à

1879), les données analogues sont les suivantes :

	ANGLETERRE.	BELGIQUE.
Pour 1 explosion mortelle.	2.301.565 ton. extraites 8.103 ouvriers	3.589.595 ton. 25.482 ouv.
Pour 1 ouvrier tué	461.589 tonnes 1.618 ouvriers	364.690 ton. 2.589 ouv.
Pour 1 million de tonnes extraites	0,43 explosion mortelle 2,17 ouvriers tués	0,28 expl. m. 2,74 ouv. tués
Pour 1.000 ouvriers (annuellement employés).	0,123 explos. mortelle 0,618 ouvrier tué	0,039 expl. m. 0,386 ouv. t.

En comparant ces chiffres à ceux de la Prusse, on voit que la fréquence des explosions mortelles y est relativement plus grande, mais le nombre des victimes, relativement moindre qu'en Angleterre et en Belgique.

Le nombre annuel des explosions mortelles a été toujours en augmentant en Prusse, aussi bien que la somme de tous les accidents; en revanche, le nombre de victimes tuées sur 1.000 ouvriers tend à diminuer.

Il est intéressant de grouper les accidents par ordre de gravité; on voit ainsi qu'en Prusse les accidents ayant fait un petit nombre de victimes, donnent sur le total des victimes une proportion de beaucoup supérieure aux accidents ayant fait un grand nombre de victimes; ou qu'en d'autres termes, ces derniers sont exceptionnels.

Le tableau suivant donne cette répartition en Prusse et en Belgique :

	PRUSSE. p. 100 du total des victimes.		BELGIQUE. p. 100 du total des victimes.	
Accidents ayant fait 1 victime (tuée)	23,6	72,7 p. 100	4,9	26,5 p. 100
— de 2-5 —	38,9		11,5	
— de 6-10 —	10,2		10,1	
— de 11-20 —	6,8	27,3 —	10,5	73,5 —
— de 21-50 —	10,9		29,4	
— plus de 50 —	9,6		33,6	
	100,0		100,0	

Il en résulte qu'en Belgique (et aussi en Angleterre), les grands accidents ont une importance relative bien plus grande qu'en Prusse ; en Belgique, 9 explosions ayant fait chacune plus de 100 victimes, ont donné un total de 1.825 morts, soit 36,8 p. 100 du total des victimes des vingt dernières années.

La perte moyenne par accident s'est élevée en Prusse, dans la période 1861-1881, à 2,49 tués; elle est de 4,09 en Angleterre (7.394 tués sur 1.809 exploisons mortelles dans la période 1851-1880) ; elle est de 8,11 en Belgique (1.793 tués sur 221 explosions mortelles dans la période 1821-1879).

Voici les chiffres relatifs aux six accidents les plus graves arrivés en Prusse de 1861 à 1881 :

TUÉS.	BLESSÉS.	DATE de l'accident.	NOM de la mine.	NOM du bassin houiller.
81	10	15 janv. 1868	Neu - Iserlohn.	Westphalie.
35	3	12 déc. 1870	Id.	Id.
34	7	20 oct. 1864	Reden-Merchweiler. .	Sarrebrück.
23	3	8 juin 1880	Neu - Iserlohn.	Westphalie.
17	16	29 janv. 1880	Preussisch-Clus. . . .	Formation wealdienne du Nord de l'Allemagne.
17	5	24 juin 1881	Louise et Erbstollen.	Westphalie.

En comprenant les blessés, le nombre moyen des victimes par accident est de 3,86 (2,49 tués, 1,37 blessés) ; sur les 466 blessés auxquels ont donné lieu les 340 accidents mortels, 43,8 p. 100 ont été blessés grièvement, 56,2 p. 100 légèrement.

§ 2. — *Explosions non suivies de mort.*

D'après les relevés officiels, on a constaté en Prusse 900 cas d'explosions non suivies de morts, de 1861 à 1881 (dont 688 pour le seul bassin de Westphalie).

Le nombre de ces explosions s'est accru rapidement dans ces dernières années ainsi que le montre le tableau sui-

vant concernant la circonscription de Dortmund (mines de Westphalie, Ibbenbüren, Minden et Borgloh).

ANNÉES.	NOMBRE des explosions			NOMBRE des mines ayant eu des explosions.	NOMBRE des victimes		
	mortelles.	non mortelles.	total.		tuées.	blessées.	Total.
1861-1881.	260	689	949	130	661	1.440	2.101
1877-1881.	95	223	318	97	228	443	671
1877	8	27	35	24	20	37	57
1878	17	45	62	39	31	67	98
1879	28	55	83	55	43	111	154
1880	21	41	62	35	81	108	189
1881	21	55	76	47	53	120	173

Dans la circonscription de Dortmund, les explosions mortelles forment 27,4 p. 100 du total des explosions; sur le nombre total des victimes, on compte 31,5 p. 100 de tués et 68,5 p. 100 de blessés.

Détails sur les circonstances des accidents dans chaque bassin. — Sur les neuf bassins houillers que compte la Prusse, trois n'ont pas eu d'explosion de grisou dans la période 1861-81 : ce sont les bassins de la Haute-Silésie, du Hartz méridional et d'Ibbenbüren. Dans la Haute-Silésie, il y a eu quelques explosions de gaz provenant de la distillation de la houille par les incendies.

Dans la Basse-Silésie, les explosions, dont la première remonte à 1850, se sont multipliées à mesure que les travaux se sont étendus en profondeur, principalement dans les couches tourmentées (Abendroth près Kohlau, et Rudolph près Neurode).

Dans les gîtes wealdiens du nord de l'Allemagne, quelques mines sont tristement célèbres par les graves accidents qu'elles ont eus (Mines Laura et Preussisch-Clus, près Minden).

Le bassin de la Westphalie n'a guère eu à lutter contre le grisou jusqu'en 1850. Mais, à mesure que l'exploitation

s'est étendue en profondeur au nord et à l'est sous les morts-terrains, le nombre des mines grisouteuses a cru rapidement : de 1861 à 1865, 2,9 p. 100 seulement de toutes les mines exploitées dans ce bassin ont eu des explosions; de 1866 à 1870, 6,9 p. 100; de 1871 à 75, 4,6 p. 100; de 1876 à 80, 6,9 p. 100; en 1881, 10,4 p. 100; et les relevés officiels du 1er juillet 1881 constatent que jusqu'à cette époque 85,4 p. 100 du total des mines de houille ont eu des accidents de grisou. Le nombre annuel des victimes s'est aussi notablement accru : pour un ouvrier tué, on compte

	Extraction.		Ouvriers employés annuellement.
De 1861-66.	493.810	tonnes	2.436
De 1866-70.	289.062	—	1.287
De 1871-75.	518.708	—	2.569
De 1876-80.	546.563	—	2.151
1881.	423.672	—	1.495

Dans le bassin d'Aix-la-Chapelle, les couches tourmentées sont grisouteuses, les couches régulières le sont très peu.

Dans le bassin de Sarrebrück, le grisou, reconnu depuis longtemps, s'est développé en profondeur surtout dans les couches de houille grasse ou demi-grasse.

Les lignites de Prusse ne sont pas grisouteux en général : on peut citer comme exception les lignites de Habitschwald, près Cassel, où une couche de charbon bitumineux, ressemblant à de la houille, a donné lieu récemment à deux explosions (14 et 19 août 1880).

On a enfin constaté quelques dégagements exceptionnels de grisou dus à des causes diverses; tels sont les dégagements de gaz carburés produits par les sondages d'Oelheim dans des couches pétrolifères; ceux, constatés plusieurs fois, dans les mines de sel gemme de Gottesgabe, près Rheine, et de Stassfurt; et les singulières explosions de grisou arrivées en 1881 dans les mines de strontianite du

district de Münster, où la présence de ce gaz est encore inexpliquée.

Dans les six bassins atteints par le grisou, on a eu en moyenne une extraction de 668.522 tonnes par ouvrier tué, et 0,329 ouvrier tué sur 1.000.

Nombre des mines grisouteuses. — Le nombre des mines grisouteuses s'est accru constamment depuis 1861 : en 1861, il n'y a eu que 12 mines ayant eu des accidents mortels; depuis, tous les ans, de nouvelles mines sont venues apporter leur contingent d'explosions, et la proportion des mines à explosions mortelles, qui était de 2,7, p. 100 du total des mines exploitées en 1861, est arrivée à 27,3 p. 100 en 1881, se répartissant par bassins de la façon suivante :

BASSINS HOUILLERS.	NOMBRE des mines en activité en 1881.	NOMBRE DES MINES ayant eu des explosions mortelles depuis 1861		IL Y A EU en moyenne par mine atteinte depuis 1861	
		en tout.	pour 100 du total des mines exploitées en 1881.	explosions mortelles.	ouvriers tués.
Basse-Silésie	42	6	14,3	3,33	8,33
Wettin-Löbejün	3	1	33,3	2,00	3,00
Gîtes wealdiens du nord de l'Allemagne	19	4	21,1	1,25	4,29
Bas-Rhin-Westphalie	192	[illegible]	42,2	3,19	7,85
Aix-la-Chapelle	17	8	47,1	2,25	6,00
Sarrbrück	13	9	69,2	4,11	10,11
Total et moyenne pour toute la Prusse	400	[illegible]	27,3	3,12	7,70

Pour le nombre d'explosions mortelles, c'est la mine Westfalia (bassin de Westphalie) qui vient en première ligne avec 14 accidents; pour le nombre de victimes, c'est la mine Neu-Iserlohn qui occupe le premier rang avec 155 ouvriers tués en 8 explosions.

Relations des explosions de grisou avec les conditions

de gisement et le mode d'exploitation, la disposition des chantiers, etc. — La prédominance des explosions de grisou dans les couches de houille recouvertes par des formations plus récentes est très manifeste : dans le bassin de la Westphalie, 90 p. 100 des explosions mortelles ont eu lieu dans les couches recouvertes par les marnes, dont l'épaisseur varie, dans ces mines, de 50 à 300 mètres.

On remarque aussi que le nombre d'accidents dans une même mine croît avec le nombre de couches exploitées simultanément; quant à l'influence de l'allure des couches, les tableaux statistiques donnés à cet égard par M. Hasslacher ne permettent pas de tirer de conclusion bien nette.

La nature du charbon paraît influer beaucoup sur le dégagement du grisou : les houilles grasses ou demi-grasses fournissent la majeure partie des accidents; les houilles maigres n'en donnent que très peu, et ce sont alors les couches tourmentées qui paraissent en donner le plus.

L'influence de la profondeur a été déjà plusieurs fois signalée précédemment. Comme mode d'exploitation, c'est la méthode chassante par piliers (*streichender Pfeilerbau*) qui donne lieu à la plus grande partie des accidents; viennent ensuite par ordre, la méthode par piliers en inclinaison, et la méthode par piliers en demi-pente (*schwebender* et *diagonaler Pfeilerbau*).

De toutes les mines qui ont donné lieu à des explosions mortelles de grisou, 81,7 p. 100 avaient un aérage artificiel, 16,5 p. 100 un aérage naturel, et 1,8 p. 100 un aérage mixte.

Le tableau suivant donne la répartition des 1.240 accidents de grisou relevés par genre de chantier :

Travaux de reconnaissance.	104	= 8,4	p. 100
— de préparation . .	683	= 55,1	—
— d'abatage	414	= 33,4	—
— divers	39	= 3,1	—
Total.	1.240	= 100,0	

D'après la disposition des chantiers, la répartition est la suivante :

Chantiers montants	46,8	p. 100
— horizontaux	34,5	—
Piliers abandonnés, gradins	16,4	—
Puits, fendues, sondages	1,1	—
Vieux travaux	1,2	—
	100,0	

Les dégagements brusques de grisou sont rares ; ce sont les dégagements lents et continus qui dominent en Prusse, ainsi qu'il ressort du tableau suivant :

Dégagements brusques	12,9	p. 100
— lents et continus	78,3	—
— par suite d'éboulement	3,4	—
— divers	5,4	—
	100,0	—

Le seul cas à rapprocher des « dégagements instantanés » de la Belgique, est l'explosion de la mine Neu-Iserlohn du 12 décembre 1870, où, par suite d'un coup de mine, une masse considérable de gaz s'est dégagée brusquement d'une faille ou d'un soufflard.

Le voisinage de rejets ou de parties tourmentées, l'effondrement soudain de piliers de soutènement sont des causes fréquentes de l'accumulation du grisou ; on peut encore citer le percement imprévu, par havage ou trou de mine, dans des remblais grisouteux, des remontées pleines de gaz ou des poches de grisou. Les explosions dans les remblais, dans les galeries anciennes abandonnées, dans les chambres à treuil sont rares. Dans quelques cas, exceptionnels mais désastreux, une perturbation dans l'aérage a répandu le grisou dans la mine tout entière, donnant ainsi lieu à une explosion générale. (Explosion du 20 octobre 1864 à Reden-Merchweiler, du 15 janvier 1868 à Neu-Iserlohn.)

En ce qui concerne le rôle des poussières de charbon dans les explosions de grisou, le tableau suivant résume les constatations faites à cet égard :

	Explosions mortelles.	Explosions non mortelles.	Total.
Chantiers humides	33	84	117
Chantiers secs sans poussières.	180	450	630
Chantiers secs avec poussières.	55	122	177
Total.	268	656	924
Cas où les observations manquent.	72	244	316
Total.	340	900	1.240

On voit, d'après ces chiffres, qu'il est difficile de se prononcer sur l'influence des poussières charbonneuses.

Le travail de M. Hasslacher contient quelques détails intéressants sur la violence et l'étendue des explosions, mais le nombre des accidents envisagés, à ce point de vue, est trop restreint pour en tirer des résultats généraux. Comme effet remarquable des explosions, on peut citer des renversements de courant d'air ayant duré dans quelques cas plusieurs heures, dans d'autres, des arrêts du courant d'air ayant duré jusqu'à 24 heures.

Époques des explosions. — M. Hasslacher a dressé des tableaux d'accidents par mois, par jours de la semaine, par heure et par postes. On voit d'après ces tableaux que la plus grande partie des explosions tombe en mars et en décembre, la plus petite en avril et mai (93 explosions par mois en moyenne d'avril à septembre, 114 d'octobre à mars). L'auteur attribue cette différence, non pas à l'influence des saisons, mais à la plus grande activité de l'exploitation en hiver.

Le classement par jours de la semaine montre que c'est

le lundi et le mardi, et en particulier dans le poste de nuit du dimanche au lundi, que le nombre d'accidents est le plus élevé ainsi qu'il ressort du tableau suivant :

	Accidents mortels.	Accidents non mortels.	Ensemble.
Dimanche	10	24	34
Lundi	72	184	256
Mardi	65	148	213
Mercredi	50	127	177
Jeudi	57	143	200
Vendredi	41	146	187
Samedi	45	128	173
Total	340	900	1.240

On voit ainsi quelle influence considérable a sur l'accumulation du grisou l'arrêt plus ou moins complet de l'exploitation le dimanche.

C'est dans le commencement de chaque poste de travail et en particulier du poste du matin qu'arrive le plus grand nombre d'accidents ; le nombre des accidents arrivés entre 6 heures et 7 heures du matin est près de dix fois plus grand que la moyenne des autres heures. Le nombre des accidents de nuit est moindre que celui des accidents de jour.

Les procès-verbaux d'accidents sont en général muets sur l'état atmosphérique et très peu explicites sur l'état de l'aérage, sauf dans les accidents récents : on voit pour ces derniers que sur 307 cas constatés, dans 14 seulement l'aérage était dérangé, et que sur 339 accidents, 136 ont révélé une accumulation exceptionnelle de grisou avant l'explosion.

Causes des explosions. — Les causes immédiates de l'accumulation du grisou ont été analysées plus haut ; les causes indirectes, outre le chômage, sont ainsi classées par l'auteur :

	EXPLOSIONS mortelles.	EXPLOSIONS non mortelles.	TOTAL.
a. *Aérage général de la mine.*			
1° Dérangement fortuit de la ventilation générale.	1	1	2
2° Négligence dans le réglage des courants d'air.	5	2	7
b. *Aérage local des chantiers.*			
3° Dérangement fortuit d'un courant d'air.	3	13	16
4° Obstruction de la voie d'air par chutes du toit.	5	8	13
5° Ventilation insuffisante.	»	2	2
6° Cloison d'aérage ne fermant pas bien ou conduite d'air en mauvais état.	3	4	7
7° Engorgement des conduites d'air, accumulation de charbon ou de stérile dans les voies d'aérage	4	8	12
8° Portes d'aérage laissées ouvertes	3	5	8
9° Négligence dans la surveillance des dispositifs de division du courant d'air.	2	1	3
10° Négligences diverses	6	10	16
	32	54	86
Sur.	340	900	1.240

Les causes directes de l'inflammation du grisou sont ainsi rangées par M. Hasslacher :

	EXPLOSIONS mortelles.	EXPLOSIONS non mortelles.	TOTAL.	POUR 100 du total.
1° Emploi de lampes à feu nu.	146	554	700	58,3
2° Emploi de briquets	7	6	13	1,1
3° Lampes de sûreté ouvertes.	44	45	89	7,4
4° Lampes de sûreté endommagées pendant le travail.	19	59	78	6,5
5° Treillis de la lampe de sûreté ayant rougi	11	14	25	2,1
6° Combustion de suie, d'huile, etc., sur le tamis de la lampe de sûreté. . . .	»	»	»	»
7° Passage de la flamme à travers le treillis :				
a) Par suite de mouvement brusque. .	57	67	124	10,3
b) Par suite de courant d'air trop vif.	7	9	16	1,3
8° Abatage à la poudre.	60	95	155	12,9
9° Foyers d'aérage	1	»	1	0,1
10° Incendie de mine	»	»	»	»
Total.	332	869	1.201	100,0
Inflammations sans cause connue	8	31	39	
Total.	340	900	1.240	

On voit que les deux tiers des accidents sont dus à l'emploi de lampes à feu nu, et que dans un cinquième des cas les lampes de sûreté ont été inefficaces; un huitième est dû à l'abatage à la poudre.

Le tableau suivant résume d'une façon très nette les causes de l'accumulation et de l'inflammation du grisou, par rapport auxquels sont classés les 340 cas d'accidents mortels constatés dans la période 1861-81 :

CAUSES DU DÉGAGEMENT et de l'accumulation du grisou.	CAUSES DE L'INFLAMMATION DU GRISOU.										
	Lampe à feu nu.	Briquet.	Lampes de sûreté ouvertes.	Détérioration de lampes de sûreté.	Lampes de sûreté dont le treillis a rougi.	Passage de la flamme à travers le treillis.		Travail à la poudre.	Foyers d'aérage.	Inconnues.	Total des explosions.
						par suite d'un mouvement brusque.	par suite d'un courant d'air trop vif.				
1° Dégagement habituel de gaz sans accumulation extraordinaire . . .	100	6	31	12	10	24	4	26	»	6	219
2° Rencontre de soufflards, failles, etc.	11	1	3	3	»	4	1	23	»	»	46
3° Eboulement du toit	9	»	5	»	»	1	1	2	»	»	18
4° Dégagement de grisou hors des remblais ou hors de poches	2	»	3	»	»	»	»	6	»	»	11
5° Chômage prolongé	8	»	»	»	»	2	»	»	»	»	10
6° Accumulation derrière des tas de stérile, des cloisons, dans le puisard	1	»	»	»	»	1	»	1	»	»	3
7° Dérangement fortuit de l'aérage. .	4	»	»	»	»	»	»	»	»	»	4
8° Ouverture de portes d'aérage . . .	5	»	»	»	»	2	»	»	»	1	8
9° Négligences diverses dans la surveillance et l'entretien des dispositifs d'aérage.	6	»	2	3	»	2	»	2	»	»	15
10° Causes inconnues.	»	»	»	1	1	1	1	»	1	1	6
Total.	146	7	44	19	11	37	7	60	1	8	340

II. — ASPHYXIES PAR LE GRISOU.

Le nombre des accidents par asphyxie s'est élevé à 46 (49 victimes tuées) dans la période 1861-81 : ils appar-

tiennent exclusivement aux bassins de Bas-Rhin-Westphalie, Aix-la-Chapelle et Sarrebrück.

La moyenne du nombre d'ouvriers morts d'asphyxie par le grisou est, par an, de 3,5 (contre 45,9 tués par explosion).

Le nombre de ces accidents, d'ailleurs assez peu fréquents, semble tendre à augmenter. On n'a pas encore élucidé la question de savoir si l'asphyxie est produite par abaissement de la proportion d'oxygène ou par des gaz délétères provenant de la combustion lente des gaz carburés.

BULLETIN.

STATISTIQUE DE L'INDUSTRIE MINÉRALE DE L'ITALIE POUR 1879 ET 1880.

Le tableau suivant donne les quantités de matières minérales extraites des mines italiennes en 1879 et en 1880 :

	1879		1880	
	QUANTITÉS extraites.	VALEUR.	QUANTITÉS extraites.	VALEUR.
	tonnes	francs	tonnes	francs
Minerais de fer.	186.857	2.101.106	289.058	3.108.031
— de manganèse.	5.705	175.350	6.475	210.790
— de ferromanganèse.	1.388	13.880	20.471	327.536
— de cuivre.	20.751	1.110 723	30.181	1,752.322
— de zinc.	73.411	3.905.013	85.287	4,628.819
— de plomb argentifère.	41.301	8.300.321	37.153	9.081.167
— d'argent.	1.409	1.395.608	1 601	2.229.159
— d'or.	9 700	416.524	11.757	598.531
— d'antimoine.	470	100.600	540	108.000
— d'étain.	2	400	16	3.200
Mercure métallique.	132,064	657.856	115,940	579.700
Pyrites de fer.	3.355	47.050	4 663	58.764
Combustibles fossiles.	131.318	1.287.262	139.369	1 313.381
Soufre.	376.316	36.477 537	359.663	36.465.593
Sel gemme et sel de sources.	28.164	592.252	26.673	609.902
Asphalte, mastic, bitume.	12.173	478.374	6.260	257.470
Petrole.	402	50.000	283	82.595
Alunite.	3.864	193.200	4.938	246.800
Acide borique.	2.506	2.004.450	3.087	2.470.760
Graphite.	1.327	32.325	1.327	32.325
Strontiane sulfatée.	»	»	1,000	50.000
Totaux.		59 540.416		64.219 645

Fer. — L'augmentation considérable de la production des minerais de fer qui ressort du tableau précédent provient à peu près exclusivement de l'île d'Elbe, la Société exploitante touchant à la fin de son existence et ayant poussé ses travaux en 1880 avec une énergie extraordinaire; les mines de l'île d'Elbe entrent en effet pour près de 275.000 tonnes dans le total, les 15.000 autres tonnes ayant été extraites des mines de Lombardie et du Piémont.

Il a été produit, en 1880, environ 60.000 tonnes de métal, fonte, fer marchand et une petite quantité d'acier.

Il n'a été importé qu'une tonne de minerai, de provenance française, tandis qu'il a été exporté 399.721 tonnes, tant de minerais manganésifères que de minerais de fer proprement dits, à destination de la France, de la Belgique, de la Grande-Bretagne, des États-Unis et du Canada.

Cuivre. — Le prix du cuivre ayant augmenté en 1880 d'environ 5 p. 100 par rapport à 1879, il en est résulté une impulsion notable pour les travaux des mines de cuivre, et l'on a extrait des minerais plus pauvres, de sorte que la teneur moyenne s'est sensiblement abaissée.

La mine d'Ollomont, dans la vallée d'Aoste, a été remise en exploitation; en Toscane, la mine de la Fenice-Massetana est entrée en pleine activité, et a produit à elle seule 4.452 tonnes. Il a été exporté 11.347 tonnes à destination de la Grande-Bretagne.

Zinc. — Le prix moyen du zinc a été aussi un peu plus élevé en 1880, ce qui a amené une production plus considérable. Sur les 85.287 tonnes extraites, 67.549 l'ont été en Sardaigne, 13.000 en Lombardie, et le reste en Piémont et en Vénétie. Tout le minerai extrait a été expédié en France, en Belgique, en Angleterre ou en Autriche.

Plomb. — La diminution de la production, malgré l'augmentation de la valeur, a été la conséquence des circonstances défavorables dans lesquelles se sont trouvées quelques-unes des mines les plus importantes, telles que l'appauvrissement des filons, l'exécution de travaux préparatoires, etc.

Il a été exporté 17.993 tonnes à destination de la France, de la Grande-Bretagne et de la Hollande, et importé 71 tonnes de provenance française.

Argent. — Les minerais d'argent proprement dits proviennent exclusivement de la Sardaigne, et l'on voit que l'extraction et surtout la valeur des produits ont sensiblement augmenté en 1880.

Or. — Pour l'or aussi la production a augmenté d'environ 10 p. 100, grâce surtout au développement des travaux des mines de l'Ossola. Il a été traité 11.447 tonnes de minerai, qui ont donné 217 kilog. d'or pur ou argentifère, valant 640.526 francs, ce qui représente un rendement moyen de 18 à 19 grammes d'or par tonne de minerai.

En 1879, il avait été produit 197 kilog., correspondant à un rendement moyen de 21 grammes par tonnes.

Il a été importé, en 1880, 2.028 kilog. d'or et exporté 2.549 kilog. en provenance et à destination de la France.

Combustibles fossiles. — Les quantités extraites représentent uniquement du lignite, compact ou xyloïde, les tourbes n'étant pas comprises dans cette statistique; la mine la plus importante est celle de San-Giovanni-de-Valdarno, qui a produit à elle seule 50.000 tonnes de lignite xyloïde.

La production de la tourbe s'est élevée à environ 100.000 tonnes.

Il a été exporté 9.069 tonnes de combustible minéral à destination de la Suisse et de l'Autriche, et importé 1.737.746 tonnes de houille ou de coke, provenant d'Angleterre, de France, d'Autriche, etc.

Autres minerais. — Les autres matières minérales ne donnent lieu à aucune remarque importante; la diminution de la production du soufre provient en grande partie des pluies qui ont entravé les travaux des mines de Sicile; sur les 359.663 produites, il a été exporté 287.149 tonnes.

(*Extrait de la* Relazione sul servizio minerario del 1880. — Annali di Agricoltura 1883, *publiée par le* Ministère de l'agriculture, de l'industrie et du commerce *d'Italie.*)

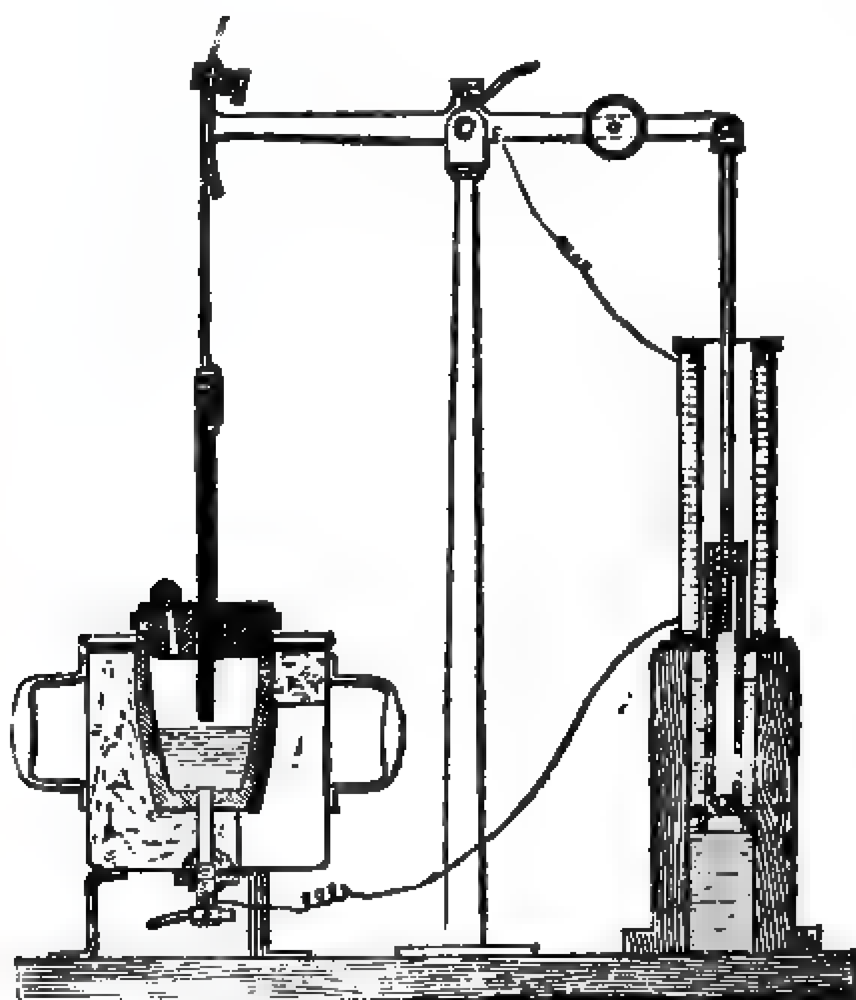
R. Z.

SUR LE FOURNEAU ÉLECTRIQUE.

Le fourneau électrique, disposé de manière à faire jaillir l'arc voltaïque dans l'intérieur d'un creuset, où l'on met la matière à fondre, a été décrit en juin 1880 dans le Journal de la Société des ingénieurs télégraphistes. Depuis lors, il a subi quelques modifications: il a paru bon d'entourer le fourneau d'une bobine, ce qui donne plus de stabilité à l'arc électrique et l'empêche de se porter vers les bords du creuset.

Ce fourneau se compose (*Voir le dessin ci-contre*) d'un creuset de grandeur convenable, dont le fond est percé d'un trou pour recevoir l'électrode positive, tandis que l'électrode négative traverse le couvercle. Cette dernière est suspendue à l'extrémité d'un balancier, dont l'autre extrémité est reliée à un cylindre creux en fer doux. Ce cylindre se meut librement dans le sens vertical à l'intérieur d'un solénoïde. On équilibre la force qui attire le cylindre vers l'intérieur du solénoïde en déplaçant un poids le long du balancier. Une des extrémités du solénoïde est

en communication avec l'électrode positive, l'autre avec l'électrode négative. Comme le solénoïde a une grande résistance, sa force attractive varie proportionnellement à la résistance de l'arc électrique. La longueur de ce dernier se règle donc automatiquement, et c'est là un point d'une grande importance.



On entoure le creuset de matières infusibles et mauvaises conductrices de la chaleur, tel que le charbon de cornues ou le sable. Les électrodes sont soit en charbon semblable à celui qu'on emploie pour les lampes électriques, soit en toute autre substance convenable. On peut refroidir les électrodes par une circulation d'eau ou en les exposant autant que possible à l'air libre. Ainsi, on a employé une électrode de nickel de un demi-pouce, dont l'extrémité était encastrée dans une forte tige de cuivre de 1 pouce carré de section, et de 6 pouces de longueur. Avec ce dispositif et sans autre moyen de refroidissement, on fondit une livre de nickel, et on la coula, le tout en l'espace de huit minutes; l'électrode n'était que faiblement attaquée.

La température, qu'on peut développer dans le fourneau électrique, n'est limitée pratiquement que par la qualité plus ou moins réfractaire des matériaux constituant le creuset. De plus la chaleur est produite à l'intérieur du métal à fondre, et n'a pas à lui être transmise à travers les parois d'un récipient.

Dans leurs expériences les auteurs employaient cinq machines D2, mises en mouvement par une machine Marshall de 12 chevaux de force. Le courant variait de 250 à 300 Ampères.

Les creusets dep lombagine se comportèrent fort bien ; mais on ne pouvait les utiliser dans tous les cas, car ils carburaient l· métal soumis à la fusion. On se servit aussi avec succès de creusets à revêtement intérieur de chaux, de sable ou de poussière de charbon.

Six livres de fer marchand furent fondues et coulées en vingt minutes. Le métal avait une texture cristalline et ne se laissait pas forger.

Il en fut toujours ainsi avec le fer, le nickel ou le cobalt. On y remédiait par une petite addition de manganèse avant la coulée. Pour l'acier, on parvint à en fondre 20 livres en une seule charge et en une heure de temps ; le fourneau avait été chauffé avant la mise en marche. On obtint des résultats analogues avec les fontes blanche, grise, siliceuse et manganésée. Il y a lieu de noter que le fer, la fonte blanche et le nickel fondus dans la poussière de charbon se chargent de carbone.

Avec le nickel et le tungstène, pendant la fusion, un dépôt de métal se forme sur l'électrode négative. Du reste, le tungstène donne des vapeurs très denses; et pourtant le métal n'entre en fusion que sur une très petite hauteur à partir de la surface de la masse soumise à l'action de l'arc électrique. Si on laisse le creuset se refroidir lentement, il se forme sur les grains de métal non fondu de petits cristaux de tungstène aux couleurs brillantes et de forme prismatique.

Le platine se montra d'une fusion facile, ainsi que le cuivre; ce dernier donnait des vapeurs abondantes, et il en résultait des pertes de métal d'une réelle importance.

(*Extrait par* M. SOUBEIRAN, *ingénieur des mines, d'une communication faite par* MM. C. W. SIEMENS et A. K. HUNTINGTON, *au Congrès tenu à Southampton par l'Association Britannique pour l'avancement des sciences.*)

ÉTUDES SUR LA CONSTITUTION DES COMBUSTIBLES FOSSILES.

Depuis quelques années, la constitution et le mode de formation des combustibles fossiles ont été l'objet de nouvelles recherches, et l'un des travaux les plus importants auxquels elles ont donné lieu, celui de M. Grand'Eury, a été publié dans ce recueil (*). En Allemagne, M. P.-F. Reinsch, puis MM. Fischer et Rüst (**), se sont occupés de la même question, mais à d'autres points de vue. On sait que M. Grand'Eury conclut à la formation des houilles par sédimentation, au moyen de débris végétaux, feuilles et écorces presque exclusivement, emportés par les eaux et séparés, par une sorte de préparation mécanique, des matières minérales entraînées en même temps. M. Fayol, de son côté, a exprimé la même opinion, mais il admet que le dépôt s'est fait en eau profonde par lits inclinés, et non, comme M. Grand'Eury, sous une épaisseur d'eau assez faible, par couches horizontales, dans des bassins soumis à des affaissements successifs. M. C.-W. v. Gümbel vient de consacrer à une étude du même genre un important mémoire (***), qui confirme la plupart des observations de M. Grand'Eury, mais combat sur quelques points ses interprétations et ses conclusions, et qu'il a paru intéressant de faire connaître avec quelques détails aux lecteurs des *Annales*.

M. v. Gümbel a eu recours, pour ses recherches, à un procédé chimique souvent employé déjà par les paléobotanistes, mais auquel il a apporté d'heureuses modifications, qui lui ont permis d'obtenir des résultats beaucoup plus complets que ses devanciers. On sait que l'acide nitrique, et mieux encore l'acide nitrique et le chlorate de potasse, exercent sur le charbon des réactions oxydantes, étudiées en détail par M. Berthelot, et qui le transforment en acide ulmique ; la réaction est plus ou moins rapide, plus ou moins énergique, suivant la nature des charbons. En traitant ensuite par la potasse ou l'ammoniaque la matière ainsi attaquée, on dissout l'acide ulmique à l'état d'ulmate alcalin et l'on met en

---

(*) *Annales des Mines*, 1er vol. de 1882, p. 99.

(**) *Zeitschrift f. Krystallographie und Mineralogie*, t. VII, p. 209.

(***) *Sitzungsberichte der k. bayer. Akad. d. Wissenschaften. Math.-phys. Cl.* 1883. 1, p. 111 à 216; pl. I à III. *Beiträge zur Kenntniss der Texturverhältnisse der Mineralkohlen*, von Dr. C.-W. v. Gümbel, k. Oberbergdirector u. Vorstand d. k. b. Oberbergamtes.

liberté de minces débris de membranes végétales, presque toujours des cuticules de feuilles ou de rameaux. M. v. Gümbel a reconnu que ces fragments de cuticules n'étaient pas les seuls éléments des combustibles fossiles qui eussent conservé leur structure; seulement ils résistent seuls à l'action des alcalis, tandis que les autres portions encore organisées, mais complètement transformées en charbon, sont entièrement dissoutes; il faut donc soumettre à l'examen microscopique les fragments attaqués avant de faire agir la dissolution alcaline; le plus souvent leur couleur foncée, qui les rend tout à fait opaques, rend l'observation très difficile; mais en les traitant par l'alcool absolu on les décolore ou du moins on les éclaircit assez pour pouvoir aisément reconnaître, après ce traitement, la structure des parties organisées.

Il suffit, d'après M. v. Gümbel, d'employer pour ces observations des esquilles de charbon détachées au marteau, les unes suivant la stratification, les autres suivant une direction normale, sans recourir à la préparation, toujours délicate, de véritables lames minces. Il recommande l'emploi d'une dissolution saturée de chlorate de potasse, et d'acide nitrique de 1,47 de poids spécifique; l'attaque se fait à froid et plus ou moins rapidement suivant la nature des charbons soumis à l'étude. En général, les combustibles les plus anciens sont les plus réfractaires à l'oxydation; mais on réussit cependant à les attaquer, au moins en partie, en recourant à l'action de la chaleur, et au besoin en substituant au chlorate en dissolution le chlorate solide mélangé à la matière charbonneuse, et en traitant par l'acide concentré. Pour les plus résistants, comme le fusain de la houille ou l'anthracite, on peut faciliter l'attaque en les faisant préalablement bouillir dans l'acide sulfurique concentré. Enfin dans quelques cas, l'incinération, déjà indiquée par plusieurs auteurs, reste le seul moyen disponible pour mettre en évidence la structure intime des charbons.

Il importe de se mettre en garde contre les erreurs qui peuvent résulter, lors de l'examen microscopique, de certaines apparences, telles que l'aspect de très minces esquilles de schiste dont les variations d'épaisseur donnent lieu à des lignes plus foncées qui feraient croire parfois à un réseau cellulaire. On observe souvent aussi des pellicules jaunâtres, fréquemment percées de petits trous, affectant quelquefois une forme sphérique, qui sont uniquement constituées par de la résine ou de la matière ulmique en flocons et que certains auteurs ont prises pour de la substance protoplasmique. On peut également être trompé par des concrétions de nature purement minérale, formées, par exemple, de calcite, de dolomie, de fer car-

bonaté, de pyrite ou de quartz. Ainsi que le fait remarquer M. v. Gümbel, les travaux de M. Reinsch sur la structure microscopique des charbons, remplis d'observations très exactes, pèchent en plus d'un point par des erreurs d'interprétation de ce genre, déjà relevées du reste par plusieurs auteurs.

Tourbe. — C'est la tourbe qui représente, en partant de l'époque actuelle, la première étape de la transformation des matières végétales en substance charbonneuse. L'analogie de diverses sortes de tourbes compactes (*Specktorf*, *Pechtorf*, etc.) et des bois trouvés dans les tourbières avec certains lignites quaternaires ou tertiaires est telle, tant au point de vue de la constitution physique que des conditions de gisement, qu'il est impossible de méconnaître les liens qui rattachent les unes aux autres, les premières passant aux seconds par des transformations graduelles. On trouve dans quelques lignites des intercalations de dépôts de diatomées comme dans certaines tourbières, et l'on connaît des tourbes compactes dans lesquelles la structure des particules végétales qui les constituent n'est guère plus distincte que dans les lignites ; la compacité de leur masse n'est pas, d'ailleurs, le résultat d'une forte pression, car les éléments qui s'y trouvent se montrent à peine comprimés. D'autre part, on a rencontré dans des tourbières, à $0^m,50$ seulement de profondeur, des troncs aplatis dont l'aplatissement ne peut être attribué qu'à la décomposition et à la disparition des éléments ligneux, sans que la pression y soit pour rien.

On constate, en faisant des coupes minces de ces tourbes, que les débris végétaux qui entrent dans leur composition sont séparés par une matière amorphe, soluble dans la potasse faible, qui forme en quelque sorte le ciment de la masse et lui donne sa compacité.

En comprimant, sous des pressions de 6.000 et de 20.000 atmosphères des tourbes composées presque exclusivement de feuilles et de tiges de *Sphagnum*, M. v. Gümbel a obtenu une réduction de dimension, dans le premier cas, de 100 à 17,7 dans le sens vertical, et de 100 à 13,9 dans le sens parallèle à la stratification ; dans le second cas, c'est-à-dire sous une pression de 20.000 atmosphères, la réduction a été, respectivement, de 100 à 10,7 et de 100 à 13 ; mais les tourbes ainsi comprimées reprenaient dans l'eau leur volume primitif et ne pouvaient par conséquent être considérées comme transformées par la pression en tourbe compacte.

Parmi les substances qui se rattachent à la tourbe, l'une des

plus intéressantes est le *dopplérite*, observé dans quelques tourbières, notamment aux environs de Berchtesgaden. C'est une substance brune, élastique quand elle est humide, qui, desséchée lentement, se transforme en une masse compacte noire, à cassure brillante, qui ne réabsorbe plus l'eau et ne se dissout ni dans l'alcool ni dans l'éther; traitée par la potasse, elle se fond en une liqueur d'un brun foncé, au milieu de laquelle on découvre quelques débris de plantes et de petits grains de couleur jaune faiblement réfringents, montrant la croix noire à la lumière polarisée et présentant en somme la plus parfaite ressemblance avec ceux qu'on observe dans les houilles après traitement par les réactifs oxydants. Même après attaque par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, il est impossible d'y découvrir la moindre trace d'organisation. Le dopplérite brûle avec une flamme fumeuse et laisse 8,25 p. 100 de cendres blanches, qui se dissolvent dans les acides avec un bruissement prononcé. Il semble que la chaux soit dans le dopplérite à l'état de combinaison chimique avec l'acide ulmique. Cette matière offre la plus grande ressemblance, à tous les points de vue, avec celle qui constitue le ciment de la plupart des tourbes, ciment dont on retrouve l'analogue dans presque tous les combustibles fossiles (*).

Certaines tourbes se montrent formées d'une succession de lits très minces, les uns de couleur foncée, les autres de couleur claire, et l'on constate que cette différence de coloration répond à des degrés différents de décomposition des matières végétales, les lits clairs correspondant aux parties les moins altérées. Dans d'autres on voit, sur la cassure transversale, alterner des bandes, les unes brillantes, les autres mates, et le traitement par l'ammoniaque montre que les premières sont formées par les parties solides des plantes dont les débris constituent la masse de la tourbe.

Quelques tourbes compactes (*Lebertorf*) présentent, avec le *boghead* ou le *cannel-coal*, une analogie singulière : la cassure en est mate et d'aspect tout à fait homogène; examinées en lames

---

(*) Il convient de rapprocher du dopplérite la matière charbonneuse qui constitue les couches de *Papierkohle* du carbonifère du gouvernement de Toula, dans la Russie centrale. Cette matière, interposée entre les innombrables fragments de cuticules qui donnent à la masse sa structure feuilletée, est en effet, comme le dopplérite, et bien que remontant à une époque géologique fort éloignée, complètement soluble dans la potasse et l'ammoniaque et elle présente, ainsi que je l'ai montré, tous les caractères de l'acide ulmique. (Voir *Bull. de la Soc. botanique de France*, t. XXVII, p. 349, et *Ann. des sciences nat.*, 6e sér., *Bot.*, t. XIII, p. 219.) R. Z.

minces au microscope, elles se montrent composées d'une série de lits horizontaux excessivement minces renfermant des grains ronds jaune clair ou rouge brun, comme ceux qu'on observe également sur des coupes transversales de ces deux variétés de houille. On y reconnait en outre des débris très divisés de feuilles de graminées ou de mousses, quelques fragments de bois et des grains de pollen en nombre incalculable.

Un fait intéressant est la présence, dans un grand nombre de tourbes, de fragments de plantes *carbonisés* tout à fait analogues au fusain du terrain houiller et se comportant comme lui vis-à-vis des réactifs oxydants, en ce sens qu'ils offrent à l'attaque une résistance plus grande que la masse de la tourbe dans laquelle ils sont noyés, ainsi qu'il arrive pour le fusain par rapport à la houille elle-même; on y reconnait des trachéides à ponctuations aréolées et des fibres libériennes.

En résumé, il résulte des recherches de M. v. Gümbel que la plupart des tourbes, aussi bien celles qui se sont formées sur place que celles dont les matériaux ont été accumulés par flottage, présentent une stratification nette en lits souvent extrêmement minces. Toutes se montrent constituées par des débris de plantes plus ou moins altérés, mais encore visiblement organisés, séparés par une substance amorphe analogue à l'humus (matière humique ou ulmique), qui résulte d'une décomposition complète de la matière végétale, transformée par une oxydation graduelle, et qui forme le ciment de la masse.

Tourbes et autres combustibles quaternaires. — Un grand nombre de tourbes quaternaires diffèrent si peu des tourbes actuelles, qu'on n'en a reconnu l'âge que par les débris animaux qu'on y a rencontrés, appartenant à l'*Elephas primigenius*, au *Rhinoceros tichorhinus*, au *Cervus megaceros*, ou à d'autres espèces éteintes.

D'autres, au contraire, se présentent sous forme de lignites schisteux (*diluviale Schieferkohle*), qu'on exploite dans un assez grand nombre de localités de la Suisse ou de la Bavière, et qui offrent des passages évidents entre la tourbe et le lignite; certaines parties sont encore molles comme la tourbe, d'autres tout à fait solides et compactes. Dans la masse on trouve des rameaux ou des troncs, le plus souvent aplatis, de conifères, de bouleaux, de saules, d'aunes, qui tantôt ont l'aspect de lignite xyloïde, tantôt sont transformés en une masse charbonneuse homogène, d'aspect analogue à la houille (*Pechkohle*). En traitant par la po-

tasse les parties encore molles, on obtient une masse exclusivement composée de débris végétaux, feuilles de graminées et de mousses, aiguilles et rameaux de conifères, étroitement enchevêtrés. Les parties solides, attaquées par les réactifs oxydants, se montrent composées aussi d'éléments végétaux à structure discernable, cimentés par une matière amorphe analogue au dopplérite : cette matière se montre souvent remplissant l'intérieur des cellules végétales dont les parois sont encore intactes. Les tiges et rameaux plus ou moins aplatis qu'on rencontre dans ces dépôts sont remplis à l'intérieur d'une substance molle, jaunâtre, rappelant le bois pourri, tandis que l'écorce est transformée en un charbon brillant, qui, traité par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, montre l'organisation caractéristique des tissus corticaux. La présence, à côté de ces troncs ou rameaux, de cônes de conifères non déformés prouve bien que leur aplatissement ne saurait être attribué à la pression et ne résulte que de la décomposition des tissus ligneux.

Dans un de ces gîtes de lignites, aux environs de Sonthofen, en Bavière, M. v. Gümbel a constaté entre les couches charbonneuses de nombreuses intercalations de marnes sableuses, remplies de débris végétaux et notamment d'aiguilles de conifères, qui présentent nettement le caractère de formations alluvionnaires ayant à diverses reprises envahi la tourbière et recouvert les dépôts de tourbe déjà formés. L'analogie avec ce qui se passe dans le terrain houiller a à peine besoin d'être signalée.

A Grossweil, près du Kochelsee, la couche de lignite se montre composée de lits alternants de débris ligneux et de débris foliacés, qu'on peut facilement isoler en traitant la masse par une dissolution de potasse ; on voit que, parmi les débris de feuilles, les *Sphagnum* tiennent la première place, ce qui prouve formellement qu'on a affaire à une formation de tourbière.

Lignites et autres charbons tertiaires. — Il n'y a qu'une différence peu importante entre les lignites quaternaires et certains lignites tertiaires qui constituent le type du *Braunkohle*. Ces lignites sont formées de lits alternants d'une matière compacte, brune, à cassure conchoïde, et d'une substance terreuse mate d'un brun jaunâtre ; on distingue de temps en temps des bandes noires ou des lits de débris ligneux qui tranchent sur le reste de la masse par leur éclat ou leur couleur particulière. Quelquefois les éléments ligneux, fragments de tiges ou de rameaux à structure conservée, sont prédominants et consti-

tuent alors le *lignite xyloïde* (*Lignit*). Enfin dans quelques gîtes on rencontre des charbons qui, bien qu'appartenant à l'époque tertiaire et liés étroitement au *Braunkohle*, ressemblent absolument par leur aspect à la véritable houille : ce sont les *Pechkohle*, qui paraissent devoir leur origine à des conditions spéciales, tandis que les *Braunkohle* se rattachent directement, comme composition et comme mode de formation, aux lignites quaternaires.

Braunkohle. — Les lignites du premier type paraissent formés par un enchevêtrement de débris végétaux, parmi lesquels les feuilles de graminées et les mousses dominent, avec une certaine quantité d'aiguilles de conifères. Les éléments ligneux ont pris aussi une part importante à la formation de ces dépôts, mais sous forme de rameaux brisés et non encore altérés, plutôt que sous forme de débris ayant déjà subi un commencement de décomposition. On y découvre aussi, surtout en les attaquant par les réactifs oxydants, un nombre considérable de grains de pollen, des diatomées, des débris d'insectes et des spicules d'éponges. L'ensemble offre tous les caractères des dépôts de tourbières.

Comme comparaison avec les résultats qu'il avait obtenus pour la tourbe, M. v. Gümbel a soumis à une forte compression du lignite xyloïde provenant d'un tronc de conifère non déformé. Sous une pression de 6.000 atmosphères, la réduction de dimension a été de 100 à 84 et à 73, et sous une pression de 20.000 atmosphères de 100 à 82 et à 67, suivant que la compression s'exerçait perpendiculairement ou parallèlement aux fibres ligneuses. On voit que l'augmentation de la pression n'a pas sensiblement accru la réduction de volume, et qu'en tout cas l'influence de ces fortes compressions est beaucoup moins grande que dans le cas de la tourbe. Cette différence paraît devoir être attribuée à ce qu'il n'y a pas ici d'intervalles vides dans la masse, les fibres du bois se montrant, sur une coupe transversale, complètement remplies par une substance noire, matière ulmique, soluble dans la potasse. Aussi les cellules ne subissent-elles qu'une déformation à peine visible ; la masse prend seulement une couleur un peu plus foncées, et dans le cas où la pression s'exerce parallèlement à elles, les fibres ligneuses se plient et s'infléchissent en zigzag.

En général on remarque, sur la cassure transversale des lignites ordinaires, des bandes d'un charbon très compact, noir, brillant, alternant avec des lits mats; ces bandes brillantes, étudiées au microscope, soit en lames minces, soit après attaque par les réactifs oxydants, se montrentcomposées principalement de fragments

de bois ou du moins des parties solides de diverses plantes. Dans quelques gîtes ces bandes brillantes se développent assez pour former de véritables bancs au milieu des couches de combustibles; elles doivent leur origine à la prédominance des éléments ligneux, dont l'accumulation peut être attribuée au flottage, mais plus souvent encore à l'existence, sur la tourbière, d'une riche végétation forestière ; la preuve en est fournie par une des couches du gîte de Wackersdorf, près Schwandorf, où le dépôt a été silicifié en quelque sorte à l'état naissant : on y voit des lits de débris ligneux, composés de ramules et de rameaux de *Glyptostrobus europæus*, alterner avec des lits plus minces formés, par tourbage, de feuilles de mousses et de graminées.

Cette alternance de bandes mates et de bandes brillantes est un des caractères qu'on retrouve dans les combustibles plus anciens, comme la houille.

Une autre analogie à signaler, c'est la présence, dans certains lignites, de fragments de fusain semblables à ceux qu'on rencontre dans la houille. Les lignites compacts du Traunthal, dans la Haute-Autriche, notamment, en renferment une grande quantité. Ces morceaux de fusain ont absolument le même aspect, la même irrégularité de contours que ceux de la houille; ils colorent à peine la potasse, et ne sont que partiellement attaqués par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, assez cependant pour qu'on puisse ensuite y distinguer nettement des fibres ligneuses à ponctuations aréolées. On trouve également du fusain dans le lignite de Falkenau, et peut-être un examen attentif en ferait-il découvrir dans la plupart des lignites (*). On voit que, sous ce rapport, il y a continuité parfaite depuis la tourbe jusqu'à la houille, en passant par tous les combustibles intermédiaires.

A l'autre extrémité de la série des lignites viennent se placer les variétés terreuses, correspondant à diverses sortes de tourbes (*Schlammtorf*, *Moortorf*) ; on y trouve, comme dans beaucoup de tourbes, des intercalations de dépôts de diatomées, par exemple dans les lignites de Mitterteich ou dans ceux de Sauforst. Ces lignites sont constitués presque exclusivement par des débris végétaux réduits à l'état de particules très divisées ; on y discerne des portions de cuticules, des grains de pollen, des spores et parfois quelques fibres de fusain, le tout mêlé à une assez forte proportion

(*) M. Grand'Eury dit en avoir observé « dans presque tous les lignites, où il est souvent très répandu ». (*Loc. cit.*, p. 115.)

de boue argileuse. C'est à ces variétés que se rattachent les charbons à gaz de Falkenau, tout à fait analogues aux tourbes compactes dont il a été question plus haut (*Lebertorf*).

Il faut mentionner enfin, comme le dernier terme de ce groupe des lignites terreux, le *pyropissite* de Weissenfels qui se rattache, du reste, étroitement au charbon à gaz de Falkenau, mais qui en diffère comme aspect, notamment parce qu'il est presque pulvérulent. Il est constitué par une substance d'un jaune brun, qui se montre composée de petits grains irréguliers, opaques, avec des débris foliaires peu nombreux, à structure conservée, appartenant à des mousses. Le pyropissite de Sauforst a une composition analogue, mais il renferme une quantité beaucoup plus grande de restes de feuilles de mousses et de graminées, avec de gros fragments de bois à structure très visible, mais transformés comme toute la masse en une substance jaune friable. On y reconnait des grains de pollen en nombre considérable, et l'action de l'acide nitrique et du chlorate de potasse y fait découvrir une grande quantité de pellicules perforées, souvent en forme de boules, de matière résineuse.

On peut rapprocher aussi de ces variétés de lignites le *dysodile* qui se trouve dans les gites des environs de Bonn et de la Rhœn, et qu'on traite pour en extraire de la paraffine. Il se divise par feuillets minces comme du papier, par suite de l'interposition d'une substance argileuse, mêlée de fines particules quartzeuses, dans laquelle se trouve enfermée la paraffine. L'action des réactifs oxydants ne permet d'y reconnaitre qu'une très faible quantité de débris végétaux à structure cellulaire et quelques grains de pollen, avec de nombreuses pellicules brunâtres à contours irréguliers sans structure discernable, qui paraissent avoir une origine animale. Il est probable qu'on a affaire ici à un dépôt formé dans un bassin d'eau douce où vivaient de nombreux animaux, dont les débris se déposaient au fond avec de l'argile et quelques fragments de plantes, à la manière de certaines formations tourbeuses.

Pechkohle.— Entre les lignites à cassure brillante et les véritables *pechkohle* ressemblant à la houille viennent se placer encore quelques charbons, parmi lesquels on peut citer celui de Prevali, en Carinthie ; ce charbon, de couleur *noire*, est formé de lits alternants, les uns mats, les autres très brillants. En l'étudiant à l'aide de l'action de l'acide nitrique et du chlorate de potasse, on y découvre une grande quantité d'éléments organisés, fragments d'épidermes et débris de tissus parenchymateux, avec grains de pollen,

dans les parties mates, et des fibres ligneuses concentrées dans les lits brillants ; il y aussi, comme dans le pyropissite, des pellicules perforées, constituées par une matière résineuse.

Le charbon brillant du Traunthal paraît entièrement formé de tissus fibreux et, en l'incinérant, on constate que toute la masse présente la structure du bois, avec des fibres ponctuées et des rayons médullaires parfaitement distincts.

A la catégorie des *pechkohle* tertiaires proprement dits appartiennent les charbons de Hæring, qui datent de l'éocène supérieur. Les couches de combustibles de ce gisement sont intercalées entre des couches marneuses certainement marines, et accompagnées de couches calcaires dans lesquelles on trouve, avec des coquilles terrestres ou d'eau saumâtre, de nombreuses empreintes végétales bien conservées, qui ont été décrites en détail par M. C. v. Ettingshausen. On peut admettre, à ce qu'il semble, que ce dépôt s'est formé dans une baie dont l'eau était devenue à moitié douce et dont les rives presque plates étaient couvertes d'une végétation ligneuse analogue à celle des *swamps* de la Louisiane; les débris plus ou moins décomposés provenant de cette végétation étaient entraînés par l'eau et ont ainsi donné naissance à un gîte charbonneux. En traitant par des réactifs oxydants ces charbons, composés de lits à peu près également brillants, on reconnaît qu'ils sont constitués presque exclusivement par des débris de feuilles et de tissus parenchymateux ; les lits plus mats se distinguent par l'enchevêtrement de leurs éléments et par la présence d'un peu de fusain à fibres nettement ponctuées, ainsi que par une assez forte proportion d'argile mélangée. En incinérant le coke formé naturellement dans certaines parties de la mine par des incendies souterrains, on constate également que toute la masse du charbon est formée de parcelles végétales à structure conservée, parmi lesquelles dominent des restes de feuilles et de très petits fragments de bois.

Les charbons de Cosina, en Dalmatie, appartenant à l'étage liburnien, ont avec ceux-ci une ressemblance extrême ; ils paraissent formés principalement de débris ligneux à structure indiscernable avec des membranes épidermiques et une assez forte proportion d'argile. Le *pechkohle* de Djiddeh, près de la mer Caspienne, se montre également composé de fibres ligneuses, mais à structure conservée.

L'un des principaux gisements de *pechkohle* est celui qui s'étend le long du bord septentrional de la chaîne des Alpes dans le sud de la Bavière, et qui appartient à l'oligocène supérieur (Miesbach,

Pensberg, Peissenberg). Les couches de combustible, atteignant un mètre de puissance, sont intercalées entre des bancs marneux extrêmement épais, remplis de coquilles d'eau saumâtre (Cyrènes, Cérithes, etc.), des grès à empreintes végétales, et des conglomérats grossiers. Ces charbons, de couleur noire foncée, peuvent à peine se distinguer des houilles véritables. Souvent des couches de calcaire bitumineux d'un blanc jaunâtre (*Stinkkalk*), renfermant des coquilles terrestres et d'eau douce, alternent avec les bancs de charbon et l'on observe parfois un passage graduel des unes aux autres. Dans le charbon lui-même, on retrouve des lits de coquilles d'*Helix*, habituellement brisées et écrasées. La masse charbonneuse se montre, sur une coupe transversale, formée de bandes alternativement plus mates et plus brillantes ; on y rencontre du fusain qui, comme dans la véritable houille, remplit parfois certains lits de ses fragments. Enfin, comme dans la houille encore, on remarque parfois sur la cassure un grand nombre de cercles rapprochés, simulant des coupes de tiges ligneuses (*Augenkohle*), apparence qui s'observe du reste aussi quelquefois dans des masses d'argile. Les plantes dont on retrouve les empreintes dans les parties stériles du gisement, appartiennent principalement à des arbres feuillus, tandis que les conifères sont relégués à l'arrière-plan.

En étudiant les diverses variétés de ces charbons après attaque par les réactifs oxydants, on reconnaît que les parties mates sont constituées par des parcelles végétales très divisées, avec des restes de feuilles et de membranes épidermiques, tandis que dans les parties brillantes on ne distingue que des fragments de bois, montrant presque toujours des fibres ponctuées ou rayées et des rayons médullaires. On observe des éléments de même nature dans le fusain, qui, bien que différent de celui de la houille par sa moindre résistance à l'action des réactifs, reste cependant en partie inattaqué, même lorsqu'on fait intervenir la chaleur. Il résulte de ces observations que ces *pechkohle* sont constitués par des fragments de plantes à structure conservée, principalement des fragments ligneux, et renferment, interposée entre ces éléments organisés, une substance amorphe analogue au dopplérite, mais qui n'entre dans la composition de la masse que pour une part secondaire.

Il est utile de remarquer que, la structure végétale ne pouvant d'ordinaire être observée que sur des fragments d'étendue très réduite, on pourrait prétendre que la masse du charbon est formée principalement d'une matière amorphe empâtant, comme éléments beaucoup moins importants, quelques débris végétaux à structure

conservée ; mais en recourant à l'incinération, on s'assure qu'en réalité toute la masse est bien constituée par des éléments organisés, principalement par des tissus ligneux ou corticaux. Cette constatation peut se faire sur les *pechkohle* à cassure brillante de presque toutes les provenances, si bien qu'on est en droit de conclure que les lits de *pechkohle* à cassure brillante doivent leur origine à la prédominance des débris de bois ou d'écorce. L'examen des cendres des parties mates montre au contraire que les débris foliaires dominent dans leur composition, et que les éléments ligneux n'y entrent que dans une proportion relativement faible.

En isolant, au moyen des acides, les feuilles transformées en charbon qui se trouvent dans les couches marneuses, on constate que leur épaisseur, comparée à celle des espèces actuelles les plus voisines, n'est guère réduite qu'à la moitié ou au tiers de ce qu'elle devait être à l'état vivant. On ne saurait donc admettre qu'à la transformation en charbon des matières végétales corresponde une contraction du volume aussi considérable que l'ont prétendu beaucoup d'auteurs, qui ont supposé qu'elle pouvait aller jusqu'à 1/25 ou 1/30 de l'épaisseur primitive. On trouve, du reste, une autre preuve du peu d'importance de la compression et des déformations subies par les débris végétaux transformés en charbon, dans ce fait que les trous de vers dont sont percés un grand nombre de bois ne présentent aucune trace d'aplatissement; quant aux coquilles d'*Helix* qu'on rencontre écrasées et brisées dans les lignites de Bavière, elles ne sont pas plus déformées que celles qu'on observe dans beaucoup de tourbières à des profondeurs de 3 à 5 mètres seulement.

Charbons de l'époque secondaire. — Il y a, parmi les charbons de l'époque secondaire, deux types bien distincts, le jayet, qui se rencontre le plus souvent en troncs isolés, et les stipites, qui constituent de véritables couches analogues à la houille et aux *pechkohle* tertiaires. Les couches de stipites sont habituellement composées de lits, d'épaisseur irrégulièrement variable, de charbon alternativement mat et brillant, de couleur souvent tout à fait noire, mais dont la poussière a toujours une teinte brunâtre. Les stipites forment le passage entre les lignites et la houille, aussi bien au point de vue de leurs caractères chimiques que de leur aspect extérieur.

Jayets. — Du jayet du *quadersandstein* de Raschwitz, en Silésie, examiné en plaques minces, à structure d'abord indiscernable,

se montre, après traitement par les réactifs oxydants, composé de fragments ligneux dans lesquels on distingue nettement les stries transversales formées par les rayons médullaires.

Le jayet du lias de Boll, en Würtemberg, et celui de Staffelstein, en Franconie, montrent, sur des coupes minces, même sans action chimique ni incinération, la texture du bois dans toute leur masse; en examinant ces cendres on y reconnaît des cellules ponctuées et des rayons médullaires, et on constate en outre que les tissus ne présentent aucun indice d'écrasement ni de déformation.

Le jayet de l'étage rhétien de Taxsöldern, près Schwandorf, dans le Palatinat, paraît absolument homogène, et les coupes les mieux réussies ne permettent pas d'y reconnaître la moindre trace d'organisation; mais après attaque par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, ou mieux encore après incinération, on s'assure qu'il est entièrement constitué par des tissus ligneux.

Il n'en est pas de même du jayet du muschelkalk de Sennefeld en Basse-Franconie, qui paraît, par les empreintes qu'il présente, formé d'*Equisetum;* traité par le réactif oxydant, il tombe en petits fragments, qui, examinés au microscope, se montrent composés de tissu parenchymateux et de longues cellules fibreuses. Le jayet du grès de Gröden (grès bigarré) de Neumarkt, dans le Tyrol méridional, paraît également formé, dans toute sa masse, de tissus parenchymateux.

En résumé, la plupart des jayets de la période secondaire paraissent formés de tissus ligneux à structure conservée, dans lesquels les vides des cellules et les espaces intercellulaires sont remplis par une substance d'apparence amorphe, plus ou moins attaquable par la potasse.

Stipites. — Un fait à noter pour les stipites, c'est qu'au point de vue de la couleur de leur poussière, de la dureté, de la solubilité dans la potasse, les caractères qu'ils présentent n'ont aucune liaison nécessaire avec leur âge; ce sont souvent les plus anciens qui ressemblent le plus aux lignites tertiaires, et les plus récents qui se rapprochent davantage de la houille.

Le charbon de Deister se montre formé, comme les *pechkohle* et la véritable houille, de minces lits alternativement mats et brillants, faciles surtout à discerner après traitement par le réactif oxydant; soit après ce traitement, soit après incinération, on y reconnaît des débris de feuilles en très grand nombre et plus ra-

rement des amas de cellules fibreuses et de tissus parenchymateux.

Le stipite du Pechgraben, près de Weyer en Autriche, traité par l'acide nitrique et le chlorate de potasse, montre nettement la texture du bois dans ses moindres détails.

Les lignites keupériens (*Lettenkohle*) de Gaildorf, en Würtemberg, et ceux des environs de Schweinfurt, en Franconie, colorent à peine la potasse, mais sont fortement attaqués par le réactif oxydant; en examinant le résidu de cette attaque, on y trouve en grande quantité des tissus parenchymateux et prosenchymateux, qui se dissolvent presque complètement dans l'alcool ou l'ammoniaque; il ne reste alors que des membranes épidermiques et quelques cellules parenchymateuses. Le *lettenkohle* de Masbach présente au contraire des tissus ligneux et des débris de parenchymes corticaux en grande abondance.

Le charbon rhétien de la Theta, près de Bayreuth, possède une constitution très analogue; mais on y trouve, à côté des fibres ligneuses, beaucoup de grains de pollen, qui paraissent former à eux seuls certains lits de la masse charbonneuse.

Charbons du terrain houiller. — Les recherches de M. v. Gümbel sur les houilles ont porté sur des échantillons appartenant à un grand nombre de variétés et provenant de divers étages du terrain houiller et de localités très variées, du bassin de Sarrebrück principalement, de Westphalie, de Saxe, du bassin de Pilsen, de la Russie méridionale, de l'Angleterre, de l'Amérique du Nord, de la Tasmanie.

Il a examiné également, à titre de comparaison, des schistes houillers, en les traitant par l'acide fluorhydrique étendu, qui met en liberté une quantité extraordinaire de parcelles végétales, à structure souvent très bien conservée. Comme ces schistes sont évidemment formés par sédimentation, et qu'on trouve tous les passages entre les schistes charbonneux et la houille schisteuse, il est impossible de contester que l'accumulation des débris végétaux par flottage ait pu jouer un rôle dans la formation de certaines couches de houille. On peut, par le procédé qui vient d'être indiqué, reconnaître quelques détails de la structure anatomique de divers organes foliaires conservés dans les schistes houillers. Le charbon dans lequel sont transformées ces feuilles est presque toujours de la houille brillante, qui se brise en petits fragments anguleux. Ce fait prouve que les débris foliaires ont pu contribuer pour une part à la formation du char-

bon brillant qui constitue certains lits des couches houillères. Les épaisseurs des lamelles de charbon qui représentent les feuilles sont telles qu'on ne saurait admettre qu'elles aient subi une forte réduction de volume, et l'on peut, ainsi que l'indiquaient déjà les observations faites sur les lignites, évaluer la diminution de l'épaisseur primitive au plus à 50 p. 100 (*). L'examen des écorces transformées en houille conduit aussi à ce résultat, que la compression n'a certainement pas joué un rôle essentiel dans la transformation en houille : ainsi les mesures faites sur des tiges de Calamites, de Sigillaires, de Lépidodendrées, les unes couchées à plat, les autres debout, ont donné, à égalité de diamètre, pour une même espèce, les mêmes résultats pour l'épaisseur de l'écorce charbonneuse, et il est clair que la pression subie par les tiges debout n'a pu être aussi forte que pour les tiges couchées. En faisant réagir sur la houille brillante de ces écorces l'acide nitrique et le chlorate de potasse et traitant ensuite par l'alcool, on s'assure en outre que les tissus ne sont pas plus déformés dans les tiges couchées que dans les autres.

Houille. — Plusieurs auteurs, notamment M. Grand'Eury, ont insisté sur ce fait, que d'ordinaire les couches de houille sont composées de lits alternants, habituellement peu épais, de charbon brillant et de charbon mat, dans lesquels sont fréquemment noyés des fragments de fusain plus ou moins volumineux. Le charbon brillant se distingue, comme celui qu'on rencontre dans les couches de combustibles plus récentes, parce qu'il se clive suivant divers plans inclinés sur la stratification ; ces clivages ne se prolongent habituellement pas à travers le charbon mat.

Il faut, en général, étudier séparément ces deux variétés de houille, car d'ordinaire elles se comportent très différemment vis-à-vis des réactifs chimiques : l'acide nitrique et le chlorate de potasse attaquent assez énergiquement le charbon brillant, en se colorant en brun foncé, tandis que pour le charbon mat l'action est beaucoup moins vive et que la liqueur ne se colore qu'en brun beaucoup moins foncé ou seulement en jaune.

Le charbon brillant est habituellement formé d'une masse brun foncé qui, même en esquilles minces, ne présente aucune trace discernable d'organisation ; mais traitée par le réactif oxydant,

(*) M. Grand'Eury est arrivé, de son côté, à une évaluation identique. (*Loc. cit.*, p. 243, 244.)

puis par l'alcool, elle se montre composée de tissus végétaux de natures diverses. On y reconnaît principalement des cellules parenchymateuses, comme celles qui entrent dans la constitution des écorces, puis des tissus ligneux, des débris de feuilles, et enfin des membranes sphériques qui représentent probablement des spores. Il est très rare de ne pas trouver dans ces charbons une grande quantité de particules végétales à structure visible; mais on ne peut pas toujours, d'autre part, s'assurer positivement que toute la masse du charbon soit organisée; il est probable que, le plus souvent, il entre dans sa composition une substance charbonneuse réellement amorphe, plus ou moins analogue au dopplérite.

Dans les parties brillantes de la couche Gneisenau du bassin de Sarrebrück, M. v. Gümbel a trouvé, comme éléments dominants, de larges cellules fibreuses et des spores, avec quelques fragments d'épidermes, de petites touffes de filaments ramifiés ressemblant à des algues, et des tissus parenchymateux à larges mailles; les parties mates de la même couche paraissent formées presque exclusivement de cellules fibreuses rappelant les tissus des feuilles de graminées, et de tissus parenchymateux, avec quelques spores et un petit nombre de vaisseaux scalariformes.

Une houille brillante de la Russie méridionale s'est montrée composée, en proportions à peu près égales, de tissus parenchymateux et prosenchymateux, présentant des fibres nettement ponctuées, avec un assez grand nombre de débris d'épidermes.

Dans une autre houille, de la Nouvelle-Écosse, les parties brillantes renferment beaucoup de tissus fibreux à trachéides ponctuées, avec des membranes épidermiques, tandis que dans les parties mates on distingue des cellules parenchymateuses, avec des fragments d'épidermes, des spores et de petites houppes semblables à des algues, comme celles de la houille de Sarrebrück déjà mentionnée.

La constitution des charbons mats est beaucoup plus variable que celle des charbons brillants; en général ils sont caractérisés par la prédominance de tissus prosenchymateux paraissant provenir principalement d'organes foliaires, par l'extrême abondance des membranes épidermiques, et par la fréquence des spores, avec des fibres de fusain éparses çà et là. Les particules argileuses, mélangées de petits grains de quartz, semblent aussi entrer pour une part importante dans leur composition.

Dans la houille d'Odenbach, les lits mats sont remplis de débris de feuilles et de cellules fibreuses entrelacés; dans les lits bril-

lants on reconnaît une grande quantité de fragments ligneux très divisés. Il en est de même pour la houille de Breitenbach-teinbach, du moins pour la couche située à la limite entre le terrain houiller et les formations suprahouillères : les parties brillantes sont formées de débris végétaux très divisés, avec des cellules fibreuses et des fragments de fusain ; dans les parties mates dominent les tissus prosenchymateux, avec des spores et des flocons d'argile.

Aux houilles mates se rattachent les schistes bitumineux, qui leur sont liés par des passages insensibles, et qui semblent devoir être divisés en deux groupes, l'un renfermant surtout des particules végétales, l'autre contenant plutôt, comme éléments combustibles, des débris animaux; le schiste bitumineux du bassin de Zwickau appartient au premier de ces deux groupes et renferme de très fines parcelles végétales, des débris foliaires, des membranes épidermiques, des spores et des cellules fibreuses, mélangés à une forte proportion de schiste argileux.

Quant au fusain, il se rencontre dans toutes les variétés de charbon, et doit être considéré comme un des éléments essentiels de la houille. Car, outre les fragments visibles à l'œil qu'on observe, tantôt couvrant certains lits sur une grande étendue, tantôt isolés et épars dans la masse de la houille compacte, l'examen des variétés brillantes ou mates en fait découvrir la présence très fréquente sous forme de fines aiguilles ou de fibres très divisées. Le fusain ne se comporte pas toujours exactement de la même manière vis-à-vis des réactifs oxydants, ni même au point de vue de l'incinération. Certains fragments en effet résistent énergiquement à l'action prolongée de l'acide nitrique concentré et du chlorate solide; d'autres se divisent en fibres isolées, d'autres encore sont partiellement attaqués, et l'on y distingue ensuite au microscope des fibres transparentes à côté d'autres restées tout à fait opaques. De même, si la calcination n'est pas très longue, certaines parties demeurent intactes à côté des autres; par une incinération complète, on obtient un léger squelette siliceux, insoluble dans l'eau et dans l'acide chlorhydrique.

L'examen des fibres isolées de fusain ne permet d'y constater aucun aplatissement, les cellules et les fibres présentant dans tous les sens des dimensions égales.

La constitution du fusain, sa division en petits fragments irréguliers, la manière dont il se rencontre dans les couches de houille, indiquent que la substance ligneuse était déjà transformée et arrivée à un état en quelque sorte définitif quand elle a été

prise dans la masse qui devait former la houille; il n'est pas rare d'en trouver des noyaux empâtés dans la houille brillante, sans être pénétrés par elle. On est ainsi conduit, comme l'a déjà admis M. Grand'Eury (*), à penser que le fusain doit son origine à un mode particulier de décomposition du bois à l'air libre, sous l'influence de périodes alternativement humides et chaudes, qui a eu pour résultat une sorte de carbonisation. Le bois est tombé ainsi en petits fragments, comme il arrive encore aujourd'hui lors de la pourriture du bois des troncs d'arbres creux, et ces fragments ont été entraînés avec les autres débris végétaux qui devaient constituer les couches de houille.

Il convient, après avoir examiné les principales variétés de charbon qui composent la houille ordinaire, de rappeler que les matières animales peuvent aussi donner naissance à de la houille, comme le prouve la transformation en charbon brillant des débris de poissons qu'on rencontre dans différents terrains : houiller, permien, lias, etc. Cette houille animale (*Zoocarbonit*) forme parfois des couches minces, mais régulières, par exemple à Münsterappel dans l'étage de Lebach : le charbon de ces couches, d'un noir brillant, à cassure anguleuse, renferme un grand nombre d'écailles et de corps entiers de poissons facilement reconnaissables. Il paraît compact et amorphe, mais les esquilles traitées par le réactif oxydant montrent des stries irrégulièrement parallèles, très caractéristiques, traversées par des veines foncées, avec des taches de formes particulières ressemblant à des cicatrices.

Cannel-coal. — On peut prendre comme type le *cannel-coal* de Wigan, dans le Lancashire; celui de Cleehill, dans le Shropshire, possède du reste une composition absolument identique.

C'est un charbon à cassure mate rappelant celle de l'argile fine, tout à fait homogène d'aspect, et présentant à peine, à l'œil nu, quelques traces de débris végétaux. Examiné en coupes perpendiculaires à la stratification, il paraît formé de lits excessivement minces, renfermant une quantité extraordinaire de petits grains jaunes ou brun clair, ronds ou elliptiques, à noyau central plus foncé, qui à la lumière polarisée se montrent faiblement biréfringents. En traitant le *cannel-coal* par les réactifs oxydants, puis par l'alcool et enfin par l'ammoniaque, on y découvre un nombre considérable de corps arrondis, qui paraissent être des spores; on y

(*) Grand'Eury, *loc. cit.*, p. 113.

reconnaît également une masse de grains et de flocons irréguliers qui ne peuvent guère être regardés que comme des débris de tissus végétaux excessivement divisés, avec des cellules parenchymateuses et prosenchymateuses bien conservées; mais ce qu'il y a de plus saillant, ce sont de petites touffes de filaments ramifiés appartenant sans doute à des algues, en tout cas d'origine certainement végétale, qui se montrent beaucoup plus abondantes ici que dans aucune autre variété de houille et semblent pouvoir être regardées comme caractéristiques du *cannel-coal.*

Dans les cendres, qui ne représentent que 1,25 p. 100 du poids primitif, on reconnaît quelques fibres végétales, des lamelles de fer spathique et de petits grains de quartz.

Boghead. — Malgré sa forte teneur en cendres, qui atteint 20 à 30 p. 100, le boghead se rattache intimement au *cannel-coal* par tous ses caractères. On y retrouve, sur des coupes minces, les mêmes grains jaunes ou bruns, et après traitement chimique les mêmes éléments organisés, spores et houppes d'algues en grande abondance. Seulement les matières terreuses, argile et grains de quartz, entrent dans la composition de la masse en proportion beaucoup plus considérable. Le boghead peut ainsi être considéré comme formant un passage entre le *cannel-coal* et les schistes bitumineux, et rappelle les tourbes compactes (*Lebertorf*) de la Prusse orientale déjà mentionnées plus haut.

Tasmanite. — On a donné ce nom à un charbon très riche en gaz de la terre de Van Diémen, qui s'exporte jusqu'en Allemagne, et qui présente à l'œil un aspect très analogue à celui du *cannel-coal;* sa teneur en cendres est de 5 à 6 p. 100. On y observe, sur des lames minces, de petits grains de couleur claire, comme dans le boghead, et l'action des réactifs oxydants permet également d'y reconnaître une grande quantité de spores, des fibres tordues en spirales, et des houppes d'algues, mais à filaments plus gros que ceux du *cannel* et du boghead, et qui paraissent articulés. On distingue dans les cendres quelques aiguilles de fusain, formées de fibres ponctuées.

Plattelkohle. — On désigne sous cette dénomination certains charbons à gaz de Bohême, plus ou moins analogues aux variétés dont il vient d'être question. Celui du puits Humboldt, des mines de Nürschau, ressemble au boghead, mais se montre plus nettement formé de couches successives, habituellement très minces. On y

distingue aussi des grains jaunes ou brun rouge, de forme arrondie ou elliptique, et, parmi les éléments organisés décelés par l'action des réactifs chimiques, des spores très nombreuses et une quantité extraordinaire de touffes d'algues. Les cendres, dont la teneur est de 6,67 p. 100, renferment beaucoup de fragments de fusain. Le *plattelkhole* des mines de Tremosna, près de Pilsen, a une composition presque identique, sauf que les corps arrondis qu'on regarde comme des spores y sont beaucoup plus abondants encore, et présentent des formes et des dimensions très variables.

On peut rattacher au même type la houille à gaz dévonienne de Mourajewna, dans le gouvernement de Toula. Elle a aussi une certaine analogie d'aspect avec le boghead, mais elle s'en distingue parce qu'elle contient une assez grande quantité de débris végétaux bien conservés, dont quelques-uns sont transformés en houille brillante, et qui sont habituellement étalés par lits, parallèlement à la stratification; mais parfois aussi ils la coupent obliquement ou normalement, et ils se présentent en somme dans les mêmes conditions de gisement que dans les schistes houillers. On doit en conclure que les éléments de cette couche de houille ont été accumulés par flottage et sédimentation. La texture de la masse charbonneuse, examinée en lames minces, est exactement la même que celle du boghead; on y observe également des corps semblables à des spores, du fusain, des débris de feuilles et une quantité énorme de houppes d'algues appartenant à deux formes distinctes, les unes de petite taille comme celles du boghead et du *cannel-coal*, les autres plus grosses, à filaments ramifiés et articulés offrant l'apparence de verres de montres empilés les uns sur les autres.

Anthracite. — L'anthracite proprement dit ne présente à l'œil ni les clivages de la houille brillante, ni la stratification de la houille mate; cependant on constate, en l'incinérant, des traces d'une structure stratifiée, que mettent du reste souvent en évidence, dans l'anthracite compact, des fragments de fusain disposés en lits parallèles au plan des couches.

Ainsi qu'il a déjà été dit, l'anthracite résiste énergiquement à l'action des réactifs chimiques même très concentrés, et il est par conséquent fort difficile d'en étudier la constitution. Cependant l'acide sulfurique concentré et bouillant l'attaque, en esquilles minces, en se colorant en brun rougeâtre; ces esquilles deviennent alors translucides sur les bords, mais sans qu'on puisse y reconnaître de traces d'organisation. En employant le chlorate de potasse solide et l'acide nitrique concentré, et en faisant intervenir

la chaleur, on parvient, sur l'anthracite de Pensylvanie, à reconnaître, après traitement par l'alcool, des tissus végétaux à structure indiscutable, notamment des cellules parenchymateuses et prosenchymateuses et des corpuscules arrondis ayant l'apparence de spores. On ne saurait du reste attribuer ces indices d'organisation à des parcelles de fusain empâtées dans l'anthracite et attaquées plus facilement, car l'examen direct du fusain que renferme l'anthracite n'y fait jamais découvrir que des restes de tissus prosenchymateux.

Des échantillons d'anthracite de plusieurs autres provenances ont donné des résultats identiques.

La meilleure méthode pour l'étude de l'anthracite paraît être l'incinération, déjà employée avec succès par Bailey et Teschemacher (*). On reconnaît dans les cendres des cellules et des fibres végétales très bien conservées, et, pas plus que dans la houille elle-même, on ne peut y découvrir aucun indice de déformation : les fibres ligneuses ont conservé la forme cylindrique qu'elles possédaient à l'état vivant, sans la moindre trace d'aplatissement, ce qui contredit formellement l'hypothèse, parfois mise en avant, de la transformation de la houille en anthracite par la seule influence d'une forte compression.

Graphite. — Quant au graphite, M. v. Gümbel a examiné des échantillons provenant des calcaires cristallins des gneiss des environs de Passau ou des phyllites de Wunsiedel, et isolés par l'acide chlorhydrique ; il n'a pu y reconnaître que des systèmes de stries plus claires, divisant les lamelles de graphite en petites plages diversement orientées.

Conclusions. — Il résulte des observations qui viennent d'être exposées que les combustibles minéraux des diverses époques géologiques, depuis la tourbe jusqu'à l'anthracite, forment une série continue et présentent dans leur constitution une analogie manifeste. Le terme principal de cette série, la houille, est formé d'éléments combustibles qui possèdent encore, pour une bonne partie, la structure des plantes qui leur ont donné naissance ; la houille est constituée, en effet, en laissant de côté les matières terreuses mélangées, par des débris de plantes renfermant entre eux et dans

---

(*) *Amer. Journ. of Science and Arts*, 2ᵉ ser., I, 1846, p. 407, et II, p. 420.

leurs interstices propres une substance humique ou ulmique qui, après avoir été sans doute en dissolution à l'origine, est peu à peu devenue insoluble et donne à toute la masse une apparence amorphe. On doit admettre que certaines parties plus facilement décomposables des végétaux dont l'accumulation devait donner naissance à la couche de charbon, se sont complètement transformées en matière ulmique en perdant leur forme et leur texture; ces matières ulmiques ont empâté et pénétré les parties plus solides qui n'étaient pas encore décomposées et dont le squelette plus fortement minéralisé offrait une résistance plus grande, et elles se sont peu à peu solidifiées par suite de modifications chimiques encore peu étudiées, peut-être par suite d'une oxydation graduelle. La houille est ainsi formée de substances diverses, quoique très analogues d'aspect, dont les unes correspondent aux débris des tissus végétaux et les autres, qui jouent le rôle de ciment, aux produits de la décomposition du reste de la masse végétale, matières ulmiques ou humiques, de composition certainement variable : la résistance plus ou moins grande que les divers éléments des houilles offrent à l'action des agents chimiques indique, en effet, l'existence de composés carbonés de différentes sortes.

Il a pu, dans quelques cas, comme pour le dopplérite, se produire un départ de la matière ulmique, qui a formé à elle seule des couches ou des lits d'un charbon absolument amorphe; mais ce phénomène n'a dû jouer dans la constitution des gîtes de combustibles qu'un rôle tout à fait secondaire.

La transformation en houille des accumulations de débris végétaux n'a exigé ni de fortes pressions ni une chaleur considérable. Le peu d'importance des déformations subies par les éléments des tissus organisés qu'on découvre dans les couches de charbon prouve bien que la compression n'a pu sérieusement intervenir dans leur transformation : elle ne peut non plus expliquer les différences d'aspect des diverses variétés de charbon, puisque l'on voit celles-ci se succéder à plusieurs reprises, alternativement mates et brillantes, dans une seule et même couche, et que la houille brillante constitue l'écorce de troncs verticaux sur lesquels la pression des couches n'a pu exercer son influence. On doit également rejeter l'hypothèse qui attribue à une forte pression la formation de l'anthracite, comme étant le charbon le plus compact de la série houillère : on trouve en effet, dans plusieurs gisements, les couches d'anthracite à la partie supérieure, et l'observation prouve aussi que les accidents, rejets, plissements, que les couches ont subis, n'ont pas toujours eu pour conséquence la transforma-

tion de la houille en anthracite; mais les dislocations résultant de ces accidents ont pu, en rendant les roches encaissantes plus perméables à l'air et à l'eau, favoriser le progrès des actions chimiques, et particulièrement de l'oxydation de l'hydrogène, d'où est résultée la formation de combustibles plus riches en carbone.

L'explication des différences qui existent entre les diverses variétés de houilles, charbonmat, charbon brillant, fusain, *cannel-coal*, et autres, peut, d'après les observations faites sur leur constitution, être cherchée dans trois systèmes de conditions, savoir :

1° La différence originelle entre les parties de plantes et entre les espèces végétales dont l'accumulation leur a donné naissance;

2° L'état dans lequel se trouvaient ces débris végétaux tant au point de vue mécanique qu'au point de vue chimique;

3° La différence des conditions extérieures dans lesquelles s'est faite la transformation en charbon, savoir notamment le mélange d'éléments minéraux en proportion plus ou moins forte, l'action plus ou moins limitée de l'air, la dessiccation plus ou moins rapide, la durée plus ou moins longue des circonstances favorables à la transformation, la puissance plus ou moins considérable de l'amas de matières végétales.

En ce qui concerne le premier point, il suffit de rappeler les différences qu'on observe entre les éléments de la houille, suivant qu'on a affaire, par exemple, à de la houille brillante, à de la houille mate ou à du *cannel-coal* : la prédominance dans la houille brillante des écorces et des tissus ligneux (*), la fréquence dans la houille mate des organes foliaires, principalement des membranes épidermiques, avec les parties moins solides des plantes, enfin la présence constante, dans le *cannel-coal*, d'une quantité considérable de spores ou de houppes d'algues, paraissent établir positivement qu'il y a corrélation directe entre la nature des plantes ou débris de plantes qui ont formé les houilles et l'aspect sous

(*) Comme confirmation de cette observation de M. v. Gümbel sur la transformation du bois lui-même en houille brillante, je dois citer un fait que j'ai observé récemment avec M. B. Renault, dans l'une des tranchées des mines de Commentry, grâce à l'obligeance de M. Fayol. Un très grand nombre de troncs, les uns couchés, d'autres inclinés, d'autres debout, appartenant aux Calamodendrées et aux Cordaïtées, nous ont offert, non pas leur écorce seulement, mais leur anneau ligneux entièrement transformé en houille brillante, sur la cassure transversale de laquelle on reconnaissait nettement, aux plus faibles grossissements, les coins de bois souvent à peine déformés, quelquefois fléchis en zigzag. Le noyau pierreux qui constituait l'axe de ces troncs ne représentait que l'étui médullaire, avec les articulations transversales caractéristiques soit

lequel celles-ci se présentent, venant se ranger dans telle ou telle des variétés qui ont été passées précédemment en revue.

L'état dans lequel se trouvait la matière végétale au moment où elle s'est déposée pour contribuer à la formation du gîte, avant toute modification ultérieure, n'a pas dû exercer une moindre influence : c'est, pour ainsi dire, évident pour le fusain, qu'on rencontre dans la houille non seulement en taches et en fragments de dimensions appréciables, mais aussi sous forme d'aiguilles et de débris très divisés parfaitement distincts de la masse dans laquelle ils sont noyés. Ainsi qu'il a été dit, le bois a dû subir une sorte de pourriture à l'air libre sous l'influence de la chaleur solaire et de périodes alternativement sèches et humides, et ce mode de transformation des tissus végétaux a certainement joué un rôle important à l'époque houillère. Les fragments ligneux qui ont ainsi donné naissance au fusain ont d'ailleurs pu se déposer sur place, à la surface de marécages tourbeux occupés par les arbres dont ils provenaient, et il n'est pas nécessaire d'admettre exclusivement qu'ils ont été transportés par flottage. Il est assez probable que c'est à un mode de décomposition et de désagrégation analogue qu'il faut attribuer la formation des petits grains ou flocons d'origine végétale qu'on rencontre fréquemment dans la houille mate et particulièrement dans le *cannel-coal*. On trouve d'ailleurs, dans la terre végétale et dans les tourbières, des particules de plantes excessivement divisées qui se présentent sous un aspect semblable, et l'on a vu plus haut que certaines tourbes (*Lebertorf*) et certains lignites tertiaires (pyropissite, charbon à gaz de Falkenau) sont ainsi formés d'une accumulation de parcelles végétales complètement désagrégées. On peut se rendre compte de la manière dont se produit cette désagrégation en attaquant par le réactif oxydant des débris de plantes déjà décomposées, mais à structure encore bien conservée, et en les traitant ensuite, sous le

---

des Calamodendrées, soit des Cordaïtées (*Artisia*). Il est donc bien clair que, si le bois a souvent été conservé à l'état de fusain ou minéralisé, il s'est aussi, dans d'autres cas, transformé en véritable houille. M. Grand'Eury a, du reste, déjà signalé ce fait pour les *Calamodendron* (*loc. cit.*, p. 235). J'ajouterai que M. Fayol a pu reconnaître sur la tranche même des couches de charbon de Commentry des lentilles de houille brillante présentant des traces très nettes d'organisation ; il a constaté ainsi que ces lentilles représentent la coupe transversale de troncs aplatis de Calamodendrées, de Cordaïtées ou de Fougères, dont tous les éléments ligneux se sont transformés en houille brillante à structure immédiatement discernable (*Soc. de l'Industrie minérale. Proc. verb. de la séance tenue à Montluçon le* 15 *juillet* 1883). R. Z.

microscope, par l'ammoniaque : on les voit alors se diviser en une masse de corpuscules, de petits grains, de flocons, de pellicules, qui nagent dans la liqueur brune résultant de la dissolution d'une partie de la matière végétale, et qui ressemblent absolument à ceux qu'on observe souvent en grande quantité dans les combustibles minéraux.

Enfin des éléments de même nature, se trouvant dans le même état au moment de leur dépôt, ont pu, soumis à des conditions extérieures différentes, ne pas subir les mêmes transformations et donner par conséquent naissance à des variétés de houille différentes. Il est à peine besoin de rappeler l'influence de la proportion des matières terreuses mélangées, qui font passer graduellement des houilles pures à des houilles cendreuses, puis à des houilles schisteuses, et enfin à des schistes bitumineux. C'est ce qui arrive actuellement sur les bords des tourbières, où les particules sableuses ou argileuses qui se mélangent à la tourbe la rendent souvent inutilisable. On ne saurait non plus révoquer en doute l'influence que doit exercer sur un amas de matières végétales l'épaisseur plus ou moins grande des masses qui le recouvrent. C'est ainsi que, dans les tourbières, les couches inférieures deviennent de plus en plus homogènes et passent graduellement à la tourbe compacte (*Specktorf*). Indépendamment de la pression des couches supérieures, qui a certainement joué un rôle, bien qu'elle ne soit pas très considérable puisque les débris de plantes contenus dans ces tourbes se montrent à peine déformés, il est incontestable que la présence de ces couches a dû, en empêchant l'accès de l'air, en s'opposant au dessèchement des masses qu'elles recouvraient, modifier les réactions chimiques dont celles-ci étaient le siège. La même chose a eu lieu pour les couches houillères, et il est évident que les transformations chimiques n'ont pas dû être les mêmes dans des couches recouvertes de puissants dépôts argileux imperméables à l'air et à l'eau, et dans celles sur lesquelles reposait seulement une faible épaisseur de sables peu consistants. C'est peut-être à des causes de ce genre qu'il faut attribuer le mode de répartition des charbons maigres et des charbons gras dans diverses régions d'un même bassin, ou dans différentes parties d'une seule et même couche. La plus ou moins grande abondance du grisou peut aussi dépendre de conditions analogues, suivant que les couches de charbon sont encaissées dans des roches plus ou moins imperméables aux gaz, ou encore suivant que le dépôt de matières végétales a été plus ou moins rapidement recouvert de dépôts plus ou moins puissants.

On arrive ainsi à se rendre compte de la diversité extrême de nature et d'aspect que peuvent présenter les houilles, suivant les conditions qui ont présidé à leur formation.

Il reste à dire quelques mots de la manière dont ont pu se faire les dépôts de matières végétales qui ont donné naissance à la houille. Parmi les théories qui ont été mises en avant, deux seulement méritent d'être prises en considération, celle de la formation par tourbage et celle de la formation par transport et sédimentation, car l'hypothèse qui veut faire de la houille un dépôt marin, constitué par des algues, est absolument sans fondement : les observations qui précèdent, sur la nature des tissus végétaux qui entrent dans sa composition, sont en contradiction formelle avec cette idée, de même que l'absence de coquilles marines aussi bien dans les bancs calcaires ou schisteux interposés entre les couches de charbon que dans la houille elle-même.

La manière dont sont constituées les couches de houille, par lits alternants, ordinairement très minces, de charbon de diverses variétés, ou même de schistes charbonneux, la ressemblance extrême qu'elles offrent par là avec des formations sédimentaires, leur alternance fréquente avec des couches incontestablement formées par sédimentation, constituent des arguments puissants en faveur de la théorie de la formation par transport, à laquelle s'est arrêté M. Grand'Eury, et qui semble avoir pris le pas sur la théorie du tourbage, ou pour mieux dire, de la formation *autochtone;* car certaines tourbes pouvant être formées de matériaux transportés, cette désignation paraît plus précise, en opposition à la théorie de la formation par transport ou formation *allochtone*.

Les troncs d'arbres debout, encore enracinés, qu'on rencontre souvent dans le terrain houiller, sont cependant parfois si rapprochés les uns des autres, et dans des positions telles, par exemple dans les tranchées du chemin de fer à Neunkirchen, près de Sarrebrück, qu'on ne peut contester qu'ils soient encore en place, dans la situation et sur le sol où ils ont vécu; mais sur d'autres points les troncs debout peuvent être regardés comme amenés par flottage, ainsi que l'admet M. Fayol, et dans tous les cas les restes de forêts houillères encore en place n'occupent qu'une étendue trop faible par rapport à celle des couches de houille pour qu'on puisse y trouver une preuve formelle de la formation autochtone.

La question est de savoir si la stratification des couches de houille par lits parallèles indique nécessairement qu'elles ont été formées par sédimentation, au moyen de matériaux amenés par flottage, ou

si elle peut s'expliquer autrement, et l'étude des dépôts de combustibles plus récents fournit à cet égard des renseignements d'un haut intérêt.

Si l'on examine, par exemple, les lignites quaternaires, on reconnaît que les couches en sont constituées par de minces lits alternants de charbons de nature et d'aspect divers, souvent séparés les uns des autres par des bancs argileux ou sableux intercalés entre eux; elles sont, en un mot, aussi nettement stratifiées que les couches de houille. D'autre part la nature des végétaux qui leur ont donné naissance, leurs conditions de gisement, leur position par rapport aux terrains contre lesquels elles s'appuient, prouvent qu'elles se sont formées dans des marécages semblables à nos tourbières et que les intercalations sableuses ou argileuses qu'on observe au milieu d'elles correspondent à des inondations qui s'étendaient de temps à autre sur ces tourbières comme sur toutes les dépressions de la surface du sol.

Si l'on passe de là au combustible le plus récent, à la tourbe, on doit tout d'abord y distinguer deux variétés différentes, les tourbes *autochtones*, ou tourbes de marais, formées sur place, et les tourbes *allochtones*, tourbes lacustres ou marines, constituées par des débris de plantes transportés par les eaux et accumulés par sédimentation au fond des étangs, des lacs, ou des anses de la mer. Ces dernières sont nécessairement stratifiées, mais souvent elles présentent une texture presque homogène, et l'on y reconnaît à peine la division par lits horizontaux, lorsqu'elle n'est pas mise en évidence par des intercalations de sable ou d'argile; cependant la stratification apparaît d'ordinaire, même dans les variétés les plus compactes, à la suite de la dessiccation, et elle est toujours facile à constater sur de minces coupes transversales. Ces tourbes sédimentaires sont habituellement caractérisées par la proportion assez élevée de matières terreuses qu'elles renferment, et par la forte désagrégation et le degré avancé de transformation des débris végétaux qui les constituent.

Dans les tourbes formées sur place, les couches supérieures, encore peu consistantes, n'offrent souvent qu'un enchevêtrement confus de différentes parties de plantes; mais dans les régions plus profondes on observe très fréquemment une alternance bien marquée de lits horizontaux de teinte, de consistance et de composition différentes, séparés parfois par des lits sableux ou calcaires interposés, et présentant en somme une stratification évidente. Les tourbes les plus homogènes (*Specktorf*) se divisent elles-mêmes, d'ordinaire, en se desséchant, en une série de minces feuillets

parallèles; et il suffit souvent d'une compression très faible pour faire apparaître nettement cette stratification dans les variétés de tourbe qui, par l'arrangement confus de leurs éléments, semblent le moins posséder une pareille structure (*).

On ne peut donc considérer la tourbe comme absolument dépourvue de stratification, ni conclure de sa constitution que les couches de combustibles nettement stratifiées ne sauraient lui être comparées; au contraire, un examen approfondi montre de telles analogies entre certaines tourbes formées de minces lits horizontaux superposés et la plupart des houilles, que la comparaison est en somme beaucoup plus favorable que contraire à la théorie de la formation par tourbage autochtone.

Il ne faut pas perdre de vue, du reste, que, dans la nature, tout ne se fait pas toujours par la même voie : de même que pour les tourbes on observe deux modes bien distincts de formation, de même on doit penser que les gîtes de combustibles minéraux ont pu se former de différentes manières, et il faut se garder de toute théorie exclusive. Il convient de songer en outre, quand on compare le mode de formation des houilles à celui des tourbes, à la différence profonde qu'il y a entre la végétation des marécages houillers et celle qui peuple aujourd'hui nos tourbières, composée principalement de mousses et de cypéracées.

On peut, d'après M. v. Gümbel, se représenter les couches houillères comme formées dans de vastes dépressions marécageuses qui s'étendaient à l'intérieur des terres, ou plus rarement le long des côtes, et où des inondations périodiques amenaient de temps à autre toutes sortes de matériaux d'érosion, qui devaient constituer des schistes ou des grès houillers. Ces dépressions, peu profondes, étaient occupées par une riche végétation, dont la nature devait varier suivant les conditions qui lui étaient offertes, profondeur plus ou moins considérable, voisinage plus ou moins immédiat des terres émergées, fréquence plus ou moins grande des inondations. Ces conditions venant à changer, la végétation se modifiait à son tour, et la nature des dépôts formés se ressentait forcément de ces modifications, d'où la succession de lits de charbon de natures différentes. Il est permis de croire que l'alternance périodique du dessèchement et de la remise en eau de ces maréca-

---

(*) M. Lesquereux a déjà, de son côté, fait ressortir cette stratification de la tourbe comme un argument en faveur de la théorie de la formation de la houille par tourbage. (*Voir* Grand'Eury, *loc. cit.*, p. 203, 204.)

ges a été l'une des principales causes de la formation successive de lits de charbons alternativement mats et brillants. En même temps les débris végétaux tombés sur le sol pouvaient être amenés par les eaux des régions émergées avoisinantes et venir se déposer sur certains points de ces bassins pour y former des couches de houille de la nature du *cannel-coal* et du boghead; il en allait de même pour une partie des détritus végétaux plus ou moins décomposés fournis par la végétation qui peuplait ces marécages eux-mêmes, et entraînés par les eaux vers des parties plus profondes.

A une période de calme plus ou moins longue, correspondant à la formation d'une couche de houille, succédait une période d'envahissement par les eaux, correspondant au dépôt d'un système de couches stériles sableuses ou argileuses; les conditions topographiques étaient modifiées, mais il restait habituellement à la surface du sol des dépressions correspondant aux anciennes ou peu éloignées d'elles, dans lesquelles s'amassaient des eaux stagnantes, et qui ne tardaient pas à se transformer en marécages et à être envahies de nouveau par la végétation : une nouvelle couche de houille s'y formait, recouverte plus tard, lors d'une autre inondation, par de nouvelles couches stériles, auxquelles pouvaient succéder encore d'autres couches de combustibles si les circonstances nécessaires à leur formation venaient à se réaliser comme par le passé.

On peut remarquer que cette théorie n'exige nullement l'hypothèse, un peu gratuite, des affaissements successifs du sol, qu'on a souvent mise en avant pour expliquer la formation du terrain houiller. Il suffit de considérer ces bassins comme remplis peu à peu, et n'ayant été occupés pendant chaque période que par une épaisseur d'eau assez faible, mais dont le niveau se modifiait successivement, chaque marécage se reformant un peu plus haut que le précédent, par suite des barrages et des dépôts formés par les eaux chargées de matériaux d'alluvion.

Dans un grand nombre de bassins, les couches houillères reposent, en stratification discordante, sur des terrains beaucoup plus anciens, et rien n'indique que la mer ait joué un rôle dans leur formation; mais sur quelques points on trouve entre les couches de charbon des bancs stériles renfermant des coquilles marines, ou bien on voit les couches de combustible apparaître dès l'époque infrahouillère, dans l'étage du culm, alternant avec des dépôts franchement marins.

Ces faits ne sont nullement en opposition avec l'hypothèse qu

vient d'être développée, car il suffit, pour expliquer l'intercalation de bancs à fossiles marins entre les couches charbonneuses, d'admettre que celles-ci se sont formées dans des dépressions immédiatement voisines de la côte, qu'envahissaient de temps à autre les flots de la mer.

Quant aux couches de charbon infrahouillères intercalées dans des formations marines, on peut les comparer à certains dépôts crétacés ou tertiaires, évidemment formés au fond de baies dont les eaux douces qui y arrivaient ont dû peu à peu atténuer ou faire disparaître la salure : il suffit de rappeler ce qui a été dit plus haut des *pechkohle* de Hæring, qu'on peut regarder comme déposés au fond d'un golfe à demi-saumâtre en partie transformé en marécages et dans lequel s'accumulaient à la fois les débris fournis sur place par la végétation qui peuplait ces marécages, et ceux que les eaux amenaient des collines boisées environnantes.

Un exemple plus net encore est fourni par les *pechkohle* de la Bavière méridionale, dont il a été également question à propos des combustibles tertiaires : ces couches de *pechkohle*, au nombre de plus de vingt sur certains points, forment, avec les couches de marnes, de grès et de conglomérats, d'origine saumâtre, avec lesquelles elles alternent, un système intercalé entre la molasse marine inférieure et la molasse marine miocène. On observe souvent entre elles, ainsi qu'il a été dit, des bancs de calcaire bitumineux, renfermant comme les couches de lignite elles-mêmes, des coquilles terrestres et d'eau douce. Au toit des couches de *pechkohle* on trouve des empreintes à la fois de feuilles d'arbres dicotylédonés, chênes, ormes, figuiers, et de feuilles de plantes aquatiques ou marécageuses, comme les *Nelumbium*. Cette formation s'explique facilement en imaginant un bassin creusé au pied des Alpes, communiquant d'abord librement avec la mer, et séparé ensuite de celle-ci par une barre à l'époque aquitanienne. L'eau en est peu à peu devenue douce ou tout au moins saumâtre; en même temps les rives plates et les parties les moins profondes de cette lagune se sont transformées en marécages, occupés par une riche végétation qui a donné lieu sur place à des dépôts de combustibles : l'existence de nombreuses racines en place au mur des couches de charbon, les intercalations de calcaire bitumineux analogues sous tous les rapports à celles que des sources calcaires forment dans certaines tourbières, indiquent en effet positivement une formation autochtone. De temps à autre des invasions de la mer amenaient, sur les dépôts déjà formés, des boues, des sables, des graviers, avec les coquilles d'eau saumâtre

qui habitaient les autres parties du bassin. Plus tard enfin le tout a été recouvert par des formations exclusivement marines. Il est très probable que les couches de charbon du culm doivent leur origine à des conditions du même genre.

En résumé, d'après M. v. Gümbel, la houille, et plus généralement les combustibles minéraux, seraient des formations autochtones, constituées par des débris de plantes tombés, désagrégés et décomposés sur place, et la formation par transport ne serait intervenue que sur certains points, d'une manière tout à fait locale et subordonnée.

(*Extrait par* M. R. Zeiller, *ingénieur des mines, du travail de* M. v. Gümbel, *intitulé :* Beiträge zur Kenntniss der Texturverhältnisse der Mineralkohlen).

TABLE DES MATIÈRES

DU TOME TROISIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

Pages

Note sur certains combustibles tertiaires de l'Istrie et de la Dalmatie; par M. *Lodin*. 209

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Note sur l'indicateur du grisou de M. E. H. T. Liveing; par MM. *Er. Mallard* et *Le Châtelier*. 51
Sur les lampes de sûreté à propos des récentes expériences de M. Marsaut; par MM. *Er. Mallard* et *Le Châtelier*. . . 55
L'industrie minérale dans la province de Minas-Geraës; par M. *de Bovet*. . . . . 85 et 123
Note sur les explosions de grisou survenues dans le bassin du Durham pendant les premiers mois de 1882; par M. *G. Walckenaer* 247
Note sur l'emploi des grosses mines aux carrières de Lafarge-du-Teil; par M. *Orieulx de la Porte*. 290
Note complémentaire sur le planimètre d'Amsler; par M. *Thiré*.. 401
Formules analytiques relatives aux lois de la richesse des filons; par M. *Haton de la Goupillière*. 405
Note sur le profil d'équilibre des tractions mécaniques en rampe; par M. *Haton de la Goupillière*. 423
Les accidents de grisou arrivés en Prusse de 1861 à 1881; par M. *Hasslacher* (Extrait par M. *G. Chesneau*). 445

MÉTALLURGIE. — MINÉRALOGIE.

Pages.

Mémoire sur l'oxydabilité relative des fontes, des aciers et des fers sous l'action de l'air et de l'eau plus ou moins chargés d'éléments étrangers; par M. *L. Gruner*. 5

Traitement du cuivre dans l'appareil Bessemer; par M. *L. Gruner*. 429

OBJETS DIVERS.

Statistique de l'industrie minérale de la France. — Tableaux comparatifs de la production des combustibles minéraux, des fontes, fers et aciers, en 1881 et en 1882. . . 69

Note sur un nouvel appareil pour manœuvre et calage des aiguilles de changements de voie par un seul levier (système Dujour). 80

Discours prononcés aux funérailles de M. L. Gruner, inspecteur général des mines en retraite, le 31 mars 1883 :

1° Discours de M. *G. de Nerville*. 234

2° Discours de M. *Lan*. 236

3° Discours de M. *Félix Le Blanc* 240

4° Discours de M. *Parran*. 244

5° Discours de M. *Lévy*. 245

Rapport sur l'explosion de la chaudière d'une grue locomobile à vapeur sur le chemin de fer d'Allevard à Cheylas (Isère); par M. *L. Luuyt*. 301

Rapport présenté au Comité de l'exploitation technique des chemins de fer au nom de la sous-commission du matériel des chemins de fer de la Corse; par MM. *Sartiaux* et *Banderali*. 307

Note sur la commande de la prise de vapeur du frein à vide sur les locomotives de la Compagnie du Nord; par M. *Ed. Sauvage*. 397

Discours prononcé aux funérailles de M. Huyot, ingénieur des mines, directeur de la Compagnie des chemins de fer du Midi, le 2 mai 1883; par M. *Léon Aucoc*. 442

BULLETIN.

	Pages
Statistique de l'industrie minérale de l'Italie pour 1879 et 1880. . .	463
Sur le fourneau électrique.	465
Études sur la constitution des combustibles fossiles.	468

EXPLICATION DES PLANCHES

DU TOME TROISIÈME.

Pl. I, *fig.* 1 et 2. — Indicateur de grisou de M. Liveing.

Pl. I, *fig.* 8 à 11. — Expériences sur les lampes de sûreté.

Pl. II. — Appareil Dujour pour manœuvre et calage des aiguilles.

Pl. III, IV et V, *fig.* 1 et 2. — Explosions de grisou survenues dans le bassin du Durham.

Pl. V, *fig.* 3 à 8. — Emploi des grosses mines aux carrières de Lafarge-du-Teil.

Pl. VI à XV. — Types de voie, de matériel roulant et de bâtiments, proposés pour les chemins de fer de la Corse.

Pl. XVI, *fig.* 1 et 2. — Valve à vapeur du frein à vide sur les locomotives de la Cie du Nord.

Pl. XVI, *fig.* 3. — Théorie du planimètre d'Amsler.

Pl. XVI, *fig.* 4 à 10. — Lois de la richesse des filons.

Pl. XVI, *fig.* 11. — Profil d'équilibre des tractions mécaniques en rampe.

Pl. XVI, *fig.* 12 à 14. — Traitement du cuivre dans l'appareil Bessemer.

PARIS. — IMP. C. MARPON ET E. FLAMMARION, RUE RACINE, 26.

BIBLIOGRAPHIE.

PREMIER SEMESTRE DE 1883.

OUVRAGES FRANÇAIS.

1° *Mathématiques pures.*

ANDRÉEF. — Sur les polygones de Poncelet; par M. Andréef, professeur à l'université de Kharkoff. In-8°, 13 p. avec fig. (3359)

ANNALES de l'Observatoire de Paris, publiées sous la direction de M. le contre-amiral Mouchez, directeur de l'Observatoire. Mémoires. T. XVI. In-4°, XII-393 p. Gauthier-Villars. 27 fr. (5718)

ANNUAIRE pour l'an 1883, publié par le Bureau des longitudes, avec des notices scientifiques. Petit in-18, 857 p., avec 18 fig. Gauthier-Villars, 1f,50. (1803)

BAEHR. — Sur les intégrales d'un système d'équations différentielles linéaires du premier ordre, à coefficients constants et sans second membre, dans le cas où l'équation caractéristique a des racines égales; par M. Baehr, professeur à l'école polytechnique de Delft. (3368)

BEZODIS (A).. — Courbes usuelles et Trigonométrie; par A. Bezodis, professeur de mathématiques. 4e année. (Programme de 1882 pour l'enseignement secondaire spécial.) (5230)

BOUSSINESQ (J.). — Cours d'analyse infinitésimale de l'Institut industriel du Nord; par M. J. Boussinesq, professeur. (6058)

CLEBSCH (A.) et F. LINDEMANN. — Leçons sur la géométrie; par Alfred Clebsch. Recueillies et complétées par Ferdinand Lindemann, professeur à l'université de Fribourg en Brisgau. Traduites par Adolphe Benoist, docteur en droit. T. III : Intégrales abéliennes et connexes. 16 fr. (5783)

COLLIGNON (E.). — Problème de géométrie; par M. Ed. Collignon, ingénieur en chef des ponts et chaussées. (3411)

COMBEROUSSE (C. de). — Traité d'arithmétique. (5995)

HALPHEN. — Mémoire sur la réduction des équations différentielles linéaires aux formes intégrales; par M. Halphen. In-4°. (4265)

LAGAY. — Trisection de l'angle et quadrature du cercle; par l'abbé Lagay, à Pradines (Loire). (5899)

LAISANT. — Théorème d'algèbre; par M. Laisant, député de la Loire-Inférieure, docteur ès sciences mathématiques. (3464)

LE KROU-NÉROUC-D'AUREL (A.). — Le Calculateur, multiplication et division instantanées; par A. Le Krou-Nérouc-d'Aurel, ancien professeur. (4293)

LEMOINE (E.). — Étude sur de nouveaux points remarquables du plan d'un triangle A, B, C; par M. Émile Lemoine, ancien élève de l'École polytechnique. (4294)

LŒWY. — Éphémérides des étoiles de culmination lunaire et de longitude pour 1883; par M. Lœwy. (2208)

MALCOR (E. A.). — Le Calcul géométrique; par M. E. A. Malcor, capitaine de vaisseau. (6759)

MARIE (M.). — Histoire des sciences mathématiques et physiques; par M. Maximilien Marie, répétiteur de mécanique et examinateur d'admission à l'École polytechnique. T. I: De Thalès à Diophante. (921)

MARRE (A.). — Appréciation nouvelle et singulière du caractère du grand Fermat, par M. Ch. Henry, bibliothécaire à la Sorbonne. Simple note de M. Aristide Marre, extraite de son compte rendu du tome XII du Bullettino di bibliografia e di storia delle scienze matematiche et fisiche, inséré dans le Bulletin des sciences mathématiques et astronomiques. T. V, p. 195-205. (3484)

VALENTIN. — Le Dictionnaire multiplicateur, nouveau livre de comptes faits comprenant tous les calculs de multiplication depuis 2 jusqu'à 12.000, etc.; par Valentin, employé de commerce. (5481)

2° *Physique et Chimie.*

ADRIAN et MOREAUX. — Recherches sur la quassine; De la quassine considérée au point de vue de son extraction du bois de Quassia amara, travail présenté à la Société de thérapeutique, le 25 avril 1883, par Adrian et Moreaux, pharmaciens de première classe. (6577)

ALLARD (E.). — Renseignements météorologiques sur le littoral de la France; par M. E. Allard, inspecteur général des ponts et

chaussées, directeur du service central des phares et balises. Publiés par ordre de M. le ministre des travaux publics. (4121)

Annales du bureau central météorologique de France, publiées par E. Mascart, directeur du bureau central météorologique. Année 1881. I. Étude des orages en France et mémoires divers. (5719)

Baehr. — Question d'optique; par Baehr, professeur à l'école polytechnique de Delft. (336)

Baldy. — De l'eau oxygénée, sa préparation à l'état de pureté, ses applications à la chirurgie et à la médecine; par le docteur Baldy, médecin inspecteur des écoles. (5511

Béchamp (A.). — Les Microzymas dans leurs rapports avec l'hétérogénie, l'histogénie, la physiologie et la pathologie, examen de la panspermie atmosphérique continue ou discontinue, morbifère ou non morbifère; par A. Béchamp, professeur de chimie organique et biologique à la faculté libre de médecine de Lille. Avec 5 planches lithographiées. (6034)

Beilstein (F.). — Manuel d'analyse chimique qualitative, par le docteur F. Beilstein, professeur à l'institut impérial technologique de Saint-Pétersbourg. Traduction française publiée avec autorisation de l'auteur, sur la 5e édition allemande, par A. et P. Buisine. (4624)

Boutigny (M.-P.-H.). — Études sur les corps à l'état sphéroïdal; par M.-P.-H. Boutigny. 4e édition, considérablement augmentée. (6351)

Brard. — Sur un nouveau système de générateurs électriques; par le docteur Brard, de La Rochelle. (4156)

Charpentier (A.). — Étude de l'influence de la coloration sur la visibilité des points lumineux; par le docteur A. Charpentier, professeur à la faculté de médecine de Nancy. (1558)

Cornu (A.). — Sur la proportion de lumière polarisée par réflexion sur les corps d'indice voisin de l'unité, application à l'illumination des corps transparents; par A. Cornu, de l'Institut. (4202)

Delaurier (E.). — Essai d'une théorie générale supérieure de philosophie naturelle et de thermo-chimie, avec une nouvelle nomenclature binaire notative pour la chimie minérale et organique; par E. Delaurier, de la Société d'encouragement. (4213)

Dubief (L. F.). — Guide du féculier et de l'amidonnier, suivi de la conversion de la fécule et de l'amidon en dextrine sèche et liquide; par L. F. Dubief, chimiste. (82)

Duclaux (E.). — Mémoire sur le lait; par M. E. Duclaux, professeur à l'Institut agronomique. (83)

DUVILLIER (E.). — Sur les acides amidés de l'acide oxycaproïque; par E. Duvillier, docteur ès sciences physiques, professeur de chimie à l'école supérieure des sciences d'Alger. (5825)

ENGEL (R.). — Nouveaux éléments de chimie médicale et de chimie biologique, avec les applications à l'hygiène, à la médecine légale et à la pharmacie; par R. Engel, professeur à la faculté de médecine de Montpellier. (1339)

FLEURY (A.). — Quelques mots sur les engrais chimiques; De la betterave et des engrais qui lui conviennent; par A. Fleury, chimiste. (3621)

HIRN (G. A.). — La Conservation de l'énergie solaire; par G. A. Hirn. Grand in-8°. (2929)

JACQUELAIN. — Sur la purification des carbones graphitoïdes naturels ou artificiels, et sur la préparation directe du carbone pur graphitoïde, destinés principalement à l'éclairage électrique. (4275)

JANSSEN (J.). — Les Méthodes en astronomie physique; par M. J. Janssen, de l'Institut, président de l'Association française pour l'avancement des sciences. (3458)

LADUREAU (A.). — L'Acide sulfureux dans l'atmosphère de Lille; par M. A. Ladureau, directeur du laboratoire de l'État et de la station agronomique du Nord. (5895)

LATTEUX (P.). — Manuel de technique microscopique, ou Guide pratique pour l'étude et le maniement du microscope. (642)

LEBAIGUE (E.). — Sur le dosage du glucose par la lumière polarisée; par Eug. Lebaigue. (387)

LEFORT (J.) et P. THIBAULT. — Note sur l'influence de la gomme arabique dans certaines réactions chimiques; par MM. Jules Lefort et Paul Thibault. (396)

LEPLAY (H.). — L'Osmose et l'Osmogène Dubrunfaut dans la fabrication et le raffinage des sucres. (5915)

LEPLAY (H.). — Chimie théorique et pratique des industries du sucre; par Hippolyte Leplay. Étude historique, chimique et industrielle des procédés d'analyse des matières sucrées, etc., suivie de la description d'un nouveau procédé d'analyse chimique industrielle des matières sucrées. Premier volume. T. I. (5361)

MÉHU (C.). — Sur l'extraction des matières colorantes des urines bleues (indigotine et indirubine). (1422)

MIQUEL (P.). — Les Organismes vivants de l'atmosphère; par M. P. Miquel, docteur ès sciences, chef du service micrographique à l'observatoire de Montsouris. (5940)

Notice sur le phare électrique de Planier (Bouches-du-Rhône). In-8°, 40 pages. Paris, imprim. nationale. (4033)

Peligot (E.). — Traité de chimie analytique appliquée à l'agriculture; par Eug. Peligot, professeur de chimie analytique à l'Institut national agronomique. (Méthodes générales d'analyse de la terre arable, les eaux, les engrais, les cendres végétales, les céréales, les fourrages, etc.). (964)

Pellet (H.). — Le Laboratoire municipal de la ville de Paris. Examen de l'ouvrage de M. Charles Girard, intitulé : Documents sur les falsifications des matières alimentaires et sur les travaux du laboratoire municipal. (24 mars.) (4057)

Poulsen (V. A.). — Microchimie végétale, guide pour les recherches phyto-histologiques, à l'usage des étudiants; par V. A. Poulsen. Traduit d'après le texte allemand par J. Paul Lachmann, préparateur à la faculté des sciences de Lyon. *Édition* française, considérablement augmentée (en collaboration avec l'auteur.) (1204)

Roussel (V.). — Le Soufre doré d'antimoine et l'Industrie du caoutchouc; par M. V. Roussel, ex-préparateur de chimie à la faculté des sciences de Clermont-Ferrand. (6538)

Schmitt (C. E.). — Le Chloroforme destiné à l'anesthésie; par M. Ch. E. Schmitt, professeur de chimie à la faculté libre des sciences de Lille. (6278)

Tellier (C.). — Étude sur la thermo-dynamique appliquée à la production de la force motrice et du froid; par Ch. Tellier, ingénieur civil. Fascicule n° 1. (5185)

3° *Géologie, minéralogie, métallurgie.*

Annales de la Société géologique du Nord. T. IX. (1881-1882.) In-8°, 342 p. et 5 planches. (5499)

Barrois (C.). — Recherches sur les terrains anciens des Asturies et de la Galice; par Charles Barrois, docteur ès sciences. Ouvrage accompagné d'un atlas de 20 pl. (6031)

Béguyer de Chancourtois. — Questions de géologie synthétique; Études, documents et modèles exposés à l'Exposition de 1883 à Madrid. (6035)

Bertrand (O.). — Guide des trois musées du Jardin des plantes : 1° Géologie, minéralogie, botanique; 2° Anatomie comparée,

anthropologie; 3° Zoologie; par O. Bertrand. Petit in-18, 96 p. Paris, lib. Baudot. (1269)

Braconnier (M. A.). — Description géologique et agronomique des terrains de Meurthe-et-Moselle. (1831)

Czyszkowski (S.). — Exploration géologique et industrielle des régions ferrifères de l'île d'Elbe (Italie); par M. Stéphen Czyszkowski, ingénieur civil des mines. (2876)

Dana (J. D.). — Manuel du géologue; par J. D. Dana. Traduit et adapté de l'anglais par W. Houtlet. In-18 jésus, 300 p. avec 363 fig. 4 fr. (3912)

Dorlhac (J.) et Amiot. — Géologie des bassins houillers de Brioude, de Brassac et de Langeac; Bassin houiller de Brioude et de Brassac; par M. J. Dorlhac, ingénieur civil des mines, de la Société géologique de France. Bassin houiller de Langeac; par M. Amiot, ingénieur des mines. Texte. In-4°, 323 p. Atlas de 19 pl. in-plano. (1528)

Errington de La Croix (J.). — Les Mines d'étain de Pérak (presqu'île de Malacca); par M. J. Errington de La Croix, ingénieur civil des mines, chargé par le ministère de l'instruction publique d'une mission scientifique en Malaisie. In-8°, VIII-79 p. avec 4 grav. et 13 pl. Paris, lib. Dunod. (4717)

Fontannes (F.). — Note sur les terrains traversés par quelques sondages récemment exécutés dans les départements de l'Isère, de la Drôme et de Vaucluse. (6136)

Fontannes (F.). — Note sur la découverte d'un *Unio* plissé dans le miocène du Portugal. (6698)

Gaudry (A.). — Les Enchaînements du monde animal dans les temps géologiques: Fossiles primaires. 10 fr. (4736)

Apparent (A. de). — Le Pays de Bray; avec 6 fig. et 4 cartes. (1661)

Péroche (J.). — L'État glaciaire, quelques mots sur la question. In-8°, 12 p. (1448)

Petiton. — Esquisse géologique de la Cochinchine française, du Cambodge (province de Poursat) et de Siam (province de Battambang). In-8°, 16 p. et carte. (6223)

Pinard (G.). — Gisements houillers de Boussaada, province d'Alger, notice. (4843)

Vivier (A.). — Sur une secousse de tremblement de terre ressentie à La Rochelle et dans le département de la Charente-Inférieure le 26 juillet 1882, et sur des élévations anormales du niveau de la mer dans le port de La Rochelle observées le 9 juin 1873 et le 22 avril 1882. (6570

4° *Mécanique. — Exploitation des mines. — Droit des mines.*

Annuaire de la Société des anciens élèves des écoles nationales d'arts et métiers, fondée en 1846, publié par le comité de la Société. 1881-1882. (249)

Collignon (E.) — Problème de mécanique. (3412)

Description des machines et procédés pour lesquels des brevets d'invention ont été pris sous le régime de la loi du 5 juillet 1844, publiée par les ordres de M. le ministre du commerce. T. CI. (Année 1867.) In-4° à 2 col., 424 p. et 53 pl. (1140). — T. CIII. (Année 1867.) In-4° à 2 col., 431 p. et 88 pl. (3918) — T. CIV, In-4° à 2 col., 410 p. et 55 pl. (4983) — T. CV. In-4° à 2 col., 494 p. et 68 pl. (5811)

Lalbin (E). — Étude sur les appareils centrifuges. (2949)

Leloutre (G.). — Recherches expérimentales et analytiques sur les machines à vapeur : Détermination de l'eau entraînée par une méthode thermométrique. (3220)

Mondiet (O.) et V. Thabourin. — Cours élémentaire de mécanique, par O. Mondiet et V. Thabourin, professeurs agrégés. T. III, Moteurs, 2° *édition.* (4029)

Olivier (L.). — Note sur les défauts, corrosions et incrustations des chaudières à vapeur. (953)

5° *Constructions. — Chemins de fer.*

Annuaire des marées des côtes de France pour l'an 1884; par M. Gaussin, ingénieur hydrographe en chef, et M. Hatt, ingénieur hydrographe de 2° classe. Petit in-18, x-312 p. (5724)

Annuaire de la Société des ingénieurs civils. 1883. (36° année.) In-8°, 158 p. (4898)

Aubert (E.). — Architecture carlovingienne, étude sur l'ancien clocher de l'église de Saint-Hilaire-le-Grand, à Poitiers. (1256)

Brouville (R. de). — Le Tunnel sous-marin et le Viaduc sur la Manche, considération sur les dangers qu'entraînerait pour la navigation la construction d'un pont sur le Pas-de-Calais. (6352)

Carro (T.). — Alliance entre la navigation maritime et la navigation intérieure. (5769)

Choisy (A.). — Étude sur l'architecture grecque. (4964)

Collignon (C.). — Les Voies ferrées des ports et la Loi du 11 juin 1880 sur les tramways. (545)

Courajod (L.). — Quelques monuments de la sculpture funéraire des XVe et XVIe siècles. (6372)

Desplanque (E.). — Manuel des entrepreneurs, recueil à l'usage des entrepreneurs, propriétaires, architectes, carriers, et en général de toute personne s'occupant de l'industrie du bâtiment; ordonnances et règlements de police réunis et classés par Émile Desplanque. Modifications et complément. In-8°, 96 p. (77)

Enquête sur les moyens de prévenir les accidents de chemins de fer (1879-1880). (97)

Fousset (A.). — L'Algérie et les Chemins de fer à voie étroite, programme rationnel du réseau algérien. (351)

Guillaume (E.). — Traité pratique de la voirie vicinale, ou Exposé de la législation et de la jurisprudence sur les chemins vicinaux. (2925)

Hélène (M.). — Les Travaux publics au XIXe siècle. Les Nouvelles routes du globe.

Lamairesse. — Du Régime légal des eaux en Algérie; les Eaux du domaine public doivent être de la part de l'administration l'objet de la même vigilance en Algérie qu'en France. (1392)

Leger (A.). — Les Canaux dérivés du Rhône; Un projet plus économique. (1401)

Louvard (L.). — Le Canal maritime entre l'Océan et la Méditerranée, rapport présenté à la chambre de commerce de Laval. (5920)

Lucas (F.). — Les Chemins de fer de l'Italie, leur histoire, leur exploitation et leurs tarifs. (4303)

Moreaux (F.). — Recherche du meilleur mode de navigation sur le Rhône, précédée de considérations sur la résistance au mouvement des coques de bateau en mer, dans les rivières et dans les canaux. (4526)

Nivet (A.). — Influence des irrigations sur les inondations, suivi de : Pétition à la Chambre des députés en 1877, et : Irrigation et Navigation en France. (6491)

Prat (E.). — L'Enrochement de la rade du Havre devant la commission nautique.

6° *Sujets divers.*

Ambroy (T.). — La Submersion des vignes. (6018)

Audra (E.). — Le Gélatino-bromure d'argent, sa préparation, son emploi, son développement. (3832)

Aux propriétaires, aux fermiers. L'Agriculture en révolution, ou Moyen de faire produire annuellement à la terre plus de 10 p. 100 net de son prix d'achat, sans l'appauvrir. (4137)

BARRAL (J. A.). — La Lutte contre le phylloxéra. (4141)

BERTHERAND (E.). — Malaria et forêts en Algérie, d'après une enquête de la Société climatologique d'Alger. (1533)

BIZEMONT (H. de). — La France en Afrique : Algérie et Tunisie, Sénégal et dépendances, Gabon et Congo. In-8°. (6046)

BODIN (J.). — Herbier agricole, ou Liste des plantes les plus communes, à l'usage des écoles d'agriculture et des écoles normales primaires. (1537)

CAMBON (V.). — De l'enseignement élémentaire de l'agriculture. (6615)

CASSÉ (E.). — Aérostation pratique; Épure et construction des aérostats et mongolfières, avec quatre planches explicatives. (6619)

CAUVET. — Notice sur l'École centrale des arts et manufactures. (1847)

CHAMBERLAND (C.). — Le Charbon et la Vaccination charbonneuse d'après les travaux récents de M. Pasteur. (5537)

Dictionnaire des finances, publié sous la direction de M. Léon Say, de l'Institut, sénateur, ancien ministre des finances, par MM. Louis Foyot, chef de bureau, et A. Lanjallay, sous-directeur au ministère des finances, avec la collaboration des écrivains les plus compétents et des principaux fonctionnaires des administrations publiques. Fascicule 1. Abandon-Allumettes. Grand in-8° à 2 col., p. 1 à 128. (6386)

DU MESNIL-MARIGNY. — L'économie politique devenue science exacte, ou Les libres échangistes et les protectionnistes conciliés.

GAILLET et HUET. — Épuration des eaux de vidange des fabriques avec utilisation des résidus. (1162)

Instructions relatives à l'établissement de pépinières de vignes américaines. In-8°, 36 p. Paris, imp. nationale. (23 avril.) (5043)

JAILLET (J.). — Modifications que subit l'alcool introduit dans l'économie. (2405)

JARLAULD (F.). — Rapport sur le fonctionnement du laboratoire municipal, présenté à la chambre de commerce de Paris le 21 février 1883, au nom de la commission des douanes, entrepôts et marchés. (3200)

LANESSAN (J. L. de). — Le Transformisme, évolution de la matière et des êtres vivants. (2950)

LAURENT (A.). — Du chauffage des voitures et du danger de l'emploi des briquettes, charbons ou combustible agglomérés. (3997)

LE BRETON (G.). — La Céramique polychrome à glaçures métalliques dans l'antiquité. (5066)

LORENTZ (B.) et A. PARADE. — Cours élémentaire de culture des bois créé à l'école forestière de Nancy. (1678)

MAISTRE (J.). — De l'influence des forêts et des cultures sur le climat et sur le régime des sources. (5373)

MIQUEL (P.). — Des organismes vivants de l'atmosphère. (1222)

Nouvelles archives du Muséum d'histoire naturelle, publiées par les professeurs-administrateurs de cet établissement. 2e série. T. V. Fascicule 2.

PAILLE (H.). — Instruction pratique pour la destruction des animaux nuisibles et malfaisants, procédé infaillible appelé à rendre les plus grands services à l'agriculture. (1195)

PERRIER DE LA BATHIE (E.). — Du sucrage des vins et des vins de raisins secs, comprenant tout ce qui concerne l'amélioration et l'augmentation des produits de la vendange par le sucre. (3009)

PHILIPON (E.). — Étude sur la propriété des dessins industriels, pour servir à l'histoire de la fabrique lyonnaise. (4062)

RENAN (E.). L'Islamisme et la Science, conférence faite à la Sorbonne, le 29 mars 1883. (5155)

RENGADE (J.). — La Création naturelle et les Êtres vivants; les Animaux et les Hommes, nouvelle histoire naturelle anatomique, physiologique et généalogique des espèces animales et des races humaines, classées et décrites selon les lois de la descendance et de la sélection.

SALMON (P.). — Dictionnaire paléoethnologique du département de l'Aube. (6541)

STEENACKERS (F. F.). — Les Télégraphes et les Postes pendant la guerre de 1870-1871, fragments de mémoires historiques. (5180)

TEISSIER (F.). — Les Merveilles et les Mystères de l'Océan, ou Voyage sous-marin de Southampton au cap Horn. (1221)

TISSANDIER (G.). — Le Problème de la direction des aérostats; Application de l'électricité à la navigation aérienne, conférences faites, en mars 1883. (5192)

TRIMM (A.). — Étude sur les chambres de travail, suivie d'un coup d'œil historique sur l'économie politique en France, en Angleterre et en Allemagne. (6564)

Vaisse (J. L.). — Découverte des lois naturelles qui servent de base à l'organisation de l'univers et qui perpétuent la vie dans tous les domaines de la création; Première théorie scientifique des effets et sur la signification du nom de ballon donné à certains sommets vosgiens. In-8°, 3 p. Nancy, Berger-Levrault et Cie. (5184)

Valson (C. A.). — Du sentiment de l'idéal et de la poésie dans la science et chez les savants, discours de réception à l'Académie des sciences, belles-lettres et arts de Lyon, le 19 déc. 1882. (5196)

OUVRAGES ANGLAIS.

Memoirs of the Geological Survey. The geology... Géologie de la région autour de Cromer (explication de la feuille 68 E.), par Cl. Reid, avec notes, par H.-B. Woodward. In-8°. 7f,50.

—— *The geology...* Géologie de la région entre Whitby et Scarborough (explication du quart de feuille 95 N. W.), par C. Fox-Shangways et G. Barrow. In-8°. 1f,90.

Parliamentary. Railway accidents... Accidents de chemins de fer. Rapports des inspecteurs pour jusqu'à septembre 1882. 3f,75.

—— *Railways. Workmen's trains...* Chemins de fer. Trains d'ouvriers ; rapport. 0f,35.

—— —— *Continuous brakes...* Freins continus; rapport. 1f,70.

—— *Railway accidents...* Accidents de chemins de fer. Comptes rendus pour 1882 et rapports des inspecteurs. 9 fr.,

—— *Railway signal...* Signaux de chemins de fer ; rapports. 0f,85.

—— *Explosions...* Explosions de gaz dans les soutes à charbon; rapport. 6f,65.

—— *Explosives...* Matières explosives; rapport des inspecteurs pour 1882. 1f,70.

—— *Railway commission...* Commission des chemins de fer; rapport pour 1882. 0f,55.

—— *Railway accidents...* Accidents de chemins de fer jusqu'au 31 mars 1883 ; rapports. 1f,15.

Hedge. *Useful information...* Renseignements pratiques sur l'éclairage électrique. In-8°. 5 fr.

WILLIAMS. *Our iron roads*... Nos chemins de fer, leur histoire, leur construction, leur administration. 2e édition, revue. In-8°, 530 p. 15 fr.

—— *The Midland*... Le Chemin de fer du Midland, son origine et ses progrès. In-8°. 15 fr.

GEIKIE. *Outlines*... Principes de géologie sur le terrain. 3e édition. In-12, 220 p. 4f,40.

JOHNSTON and CAMERON. *Elements*... Éléments de chimie et de géologie agricoles. 13e édition. In-12, 516 p. 8f,15.

DAWSON. *Fossil men*... Les hommes fossiles et leurs représentants modernes. 2e édition. In-8°, 360 p. 9f,40.

URQUHART. *Electric light*... La lumière électrique, sa production et son emploi. 2e édition soigneusement revue et considérablement augmentée. In-8°, 346 p. 9f,40.

WILSON. *Treatise*... Traité des chaudières à vapeur. 5e édition. In-12, 326 p. 7f,50.

SIEMENS. *On the conservation*... Sur la conservation de l'énergie solaire. In-8°, 118 p. 6f,25.

TYNDALL. *Sound*... Le son. 4e édition, revue et augmentée. In-8°, 460 p. 13f,15.

ASPIN and RYBERG. *Iron and steel*... Barême de l'industrie du fer et de l'acier. Nouvelle édition. In-8°, 15 fr.

PATTISON and PFAFF. *The age*... L'âge et l'origine de l'homme au point de vue géologique. In-8°, 53 p. 0f,45.

BOX. *A practical treatise*... Traité pratique de la résistance des matériaux. In-8°, 530 p. 22f,50.

—— *A practical treatise*... Traité pratique de la chaleur. 4e édition. In-8°, 300 p. 15f,65.

DANA and BRUSH. *A system*... Système de minéralogie comprenant les plus récentes découvertes. 5e édition, refondue et augmentée. In-8°, 1.072 p. 52f,50.

ROWAN. *Explosions of gas*... Explosions de gaz dans les soutes à charbon; examen critique du rapport du Comité de l'Amirauté sur cette question. 1f,25.

FRANKLAND. *Agricultural*... Analyse chimique agricole : fondée sur l'ouvrage du Dr Krocker *Leitfaden für die Agricultur-Chemische*. In-8°, 320 p. 9f,40.

CRANE. *The sheet metal*... Guide du fabricant de métal en feuilles : manuel du travail de l'étain, du cuivre, du zinc. In-12, 96 p. 1f,90.

OUVRAGES AMÉRICAINS.

CAMPBELL. *Geology...* Géologie et recherches minérales de la vallée de la James River, Va., avec carte et coupes géologiques. New-York. In-8°, 140 p. 6f,25.

FOSTER. *The taxation...* Les taxes des chemins de fer aériens de New-York. New-York. In-8°, 61 p. 1f,90.

GREER. *A dictionary...* Dictionnaire de l'électricité. New-York. In-12, 192 p. 12f,50.

—— *The storage...* L'emmagasinement de l'électricité. New-York. In-8°, III-62 p. 6f,25.

SMITH. *Report...* Rapport sur le développement des ressources minérales, métallurgiques, agricoles, pastorales et autres de la Californie pour les années 1881 et 1882. Denver. In-8°, 159 p. 2f,50.

THURSTON. *Conversion tables...* Tables de conversion des mesures métriques en mesures anglaises et des États-Unis ; avec une introduction. New-York. In-8°, XII-85 p. 6f,25.

BURNHAM. *History and uses...* Histoire et usages des calcaires et des marbres. Boston. 410 p. 45 fr.

Geology... Géologie. Rapport annuel du Secrétaire de l'Intérieur sur les opérations du Département pour l'année finissant au 30 juin 1881. En 4 vol., t. III. Second rapport annuel du Geological Survey, par J.-W. Powell, directeur ; avec cartes et planches. Washington. In-8°, LV-538 p.

BROWN. *Manual...* Manuel pour l'essai des minerais d'or, d'argent, de cuivre et de plomb. Chicago. In-12, 318 p. 11f,25.

OUVRAGES SUISSES.

O. HEER. *Flora fossilis Grönlandica. Die fossile...* Flore fossile du Groenland. 1re partie, comprenant : 1° La flore des couches de Kome ; 2° La flore des couches d'Atané. Zurich. In-4°, VIII-112 p., av. 47 pl. 40 fr.

SCHRÖTER. *Die Flora...* La flore de l'époque glaciaire. Zurich. In-4°, 41 p., 1 pl. 2f,50.

PORTIS. Les Chéloniens de la molasse vaudoise conservés dans le musée géologique de Lausanne. Genève. In-4°, 78 p. 25 fr (Extr. des *Abhandl. d. schweiz. paläontol. Gesellschaft.*)

OUVRAGES ALLEMANDS.

BEILSTEIN. *Handbuch...* Manuel de chimie organique. Hambourg. In-8°. Livraisons 11-14 (fin), p. 1585-2185. Chaque livraison 3f,75.

BÖHM. *Ueber einige...* Sur quelques fossiles tertiaires de l'île Madura, au nord de Java. Vienne. In-4°, 16 p., av. 4 pl. 3 fr.

Neues Handwörterbuch... Nouveau dictionnaire de chimie, composé et rédigé par *H. v. Fehling*, avec le concours de Baumann, Bunsen, Classen, etc. Brunswick. In-8°. Livraisons 42-43 (T. IV, p. 145-336). Chaque livraison 3 fr.

LAUBENHEIMER. *Grundzüge...* Principes de chimie organique. Heidelberg. In-8°. Livr. 3; p. 401-672. 7f,50.

MARTINI und CHEMNITZ. *Systematisches Conchylien-Cabinet...* Collection systématique de coquilles. Publié et complété par *H. C. Küster*, en collaboration avec Philippi, L. Pfeiffer, Dunker, etc., continué après sa mort par *W. Kobelt* et *H. C. Weinkauff*. Nüremberg. In-4°. Livraisons 316-318; 120 p., av. 17 pl. coloriées. Chaque livraison 11f,25. — Sections 101 et 102; 72 p., 17 pl.; — 180 p., 20 pl. Chaque section 33f,75.

Palæontographica. Beiträge... Contributions à l'histoire naturelle des temps primitifs. Publié par *W. Dunker* et *K. A. Zittel*. Cassel. In-4°. T. XXIX (3e série, t. V.), livraisons 3 et 4, p. 122-235, av. 19 pl. 87f,50. — 3e supplément, livraisons 10 et 11, 151 p., av. 12 pl. 50 fr.

PARTSCH. *Die Gletscher...* Les glaciers des temps primitifs dans les Carpathes et dans les Mittelgebirge d'Allemagne. Breslau. In-8°, XI-198 p., av. 4 cartes. 9f,50.

PENCK. *Schwankungen...* Oscillations du niveau de la mer. Munich. In-8°, 70 p. 2 fr. (Extrait du *Jahrb. d. geograph. Gesellschaft zu München*).

TAMMEN. *Definition...* Définition et détermination expérimentale d'une nouvelle constante de la théorie de l'élasticité. Leipzig. In-8°, 53 p., av. une pl. 1f,25.

THOMSEN. *Thermochemische...* Recherches thermochimiques. T. II. Métalloïdes. Leipzig. In-8°, XIV-506 p., avec 1 pl. 15 fr.

Beiträge... Contributions à la paléontologie de l'Autriche-Hongrie et de l'Orient, publiées par *E. v. Mojsisovics* et *M. Neumayr*. Vienne. In-4°. T. III, fasc. 1 et 2, 85 p., 14 pl. 50 fr.

Reinsch. *Microphotographien...* Microphotographies relatives à la structure et à la composition des charbons du terrain houiller, d'après des coupes microscopiques de charbons. Leipzig. In-4°, III-13 p., avec 74 photographies et 13 pl. 75 fr.

Zittel. *Handbuch...* Manuel de paléontologie. Münich. In-8°, t. I, 6° livr., 2° part., p. 149-380. 8f,75.

Behrens. *Beiträge...* Contributions à la pétrographie de l'archipel indien. 2° part. : Les roches des volcans de Java. Amsterdam In-4°, 73 p., 1 pl. 3f,25.

Doormann. *Anwendung...* Application des fonctions de Lamé au problème de la théorie du potentiel relativement à l'ellipsoïde à trois axes et à la surface d'élasticité de Fresnel. Leipzig. In-8°, 74 p. 2f,50.

Meyer und Seubert. *Die Atomgewichte...* Les poids atomiques des éléments, déterminés à nouveau d'après des chiffres originaux. Leipzig. In-8°, x-245 p. 7f,50.

Münker. *Die Grundsätze...* Les principes de l'électro-dynamique. Nüremberg. In-8°, IV-27 p. 1f,25.

Quenstedt. *Petrefactenkunde...* Paléontologie de l'Allemagne. Leipzig. In-8°, 1re part., t. VII, fasc. 3, Gastéropodes, p. 321-464, avec un atlas de 6 pl. 20 fr.

—— *Die Ammoniten...* Les ammonites du jurassique de la Souabe. Stuttgart. In-8°, 1er fasc., 48 p., av. 6 pl. 18f,25.

Schirmacher. *Die diluvialen Wirbelthierreste...* Les restes d'animaux vertébrés diluviens des provinces de la Prusse orientale et occidentale. Königsberg. In-8°, 52 p., avec 5 pl. 3f,25.

Schroeder. *Senone Kreidegeschiebe...* Galets de craie sénonienne des provinces de la Prusse orientale et occidentale. Berlin. In-8°, 45 p. 1f,25.

Spitzer. *Neue Studien...* Nouvelles études sur l'intégration des équations différentielles linéaires. 3° suite. Vienne. In-8°, VI-78 p. 4f,50.

Staub. *Mediterrane Pflanzen...* Plantes de l'étage méditerranéen du comitat de Baranya. Bude-Pesth. In-8°, 23 p., 4 pl. 2f,50. (Extr. des *Mittheil. aus d. Jahrb. d. k. ung. geol. Anstalt.*)

Gœppert und Menge. *Die Flora...* La flore du succin et ses relations avec la flore tertiaire et avec la flore actuelle. T. I. Danzig. In-4°, VIII-63 p., avec 16 pl. 25 fr.

Lolling. *Ueber Bewegungen*... Sur les mouvements de particules électriques d'après la loi fondamentale de Weber de l'électrodynamique. Halle. In-4°, 64 p., 4 pl. 7f,50.

Noether. *Zur Grundlegung*... Sur l'établissement de la théorie des courbes algébriques de l'espace. Berlin. In-4°, 120 p.

Voretzch. *Untersuchung*... Étude d'une surface spéciale de courbure moyenne constante dans laquelle l'un des deux groupes de lignes de courbure est formé de courbes planes. Gœttingen. In-8°, 67 p., 2f,25.

Bernhardi. *Das norddeutsche Diluvium*... Le diluvium du nord de l'Allemagne, formation glaciaire. Essai pour démontrer l'exactitude de la théorie de Torell, d'après la constitution et la figure de notre sol. Züllichau. In-8°, III-48 p. 1f,25.

Hellwig. *Ueber harmonische*... Sur les relations harmoniques et involutoires et leur application à la classification des courbes du second degré. Erlangen. In-4°, 29 p., 1 pl. 1f,50.

Hollefreund. *Die Gesetze*... Les lois de la propagation de la lumière dans les milieux biréfringents, d'après la loi du frottement de Lommel et leur accord avec l'expérience. Halle. In-4°, 39 p. 2f,50.

Kayser. *Lehrbuch*... Traité d'analyse spectrale. Berlin. In-8°, XI-358 p., avec 87 fig. et 9 pl. 12f,50.

Kolbe. *Kurzes Lehrbuch*... Petit traité de chimie organique. 3e fasc. (fin). Brunswick. In-8°, XVI et p. 513-864. 5 fr.

Kraus. *Beiträge*... Contributions à l'étude des bois fossiles. (I. Bois des soufrières de Sicile, avec 1 pl. — II. Diagnostic des bois de conifères.) Halle. In-4°, 33 p. 2f,50. (Extr. des *Abandl. d. naturforsch. Gesellschaft zu Halle.*)

Milde. *Akustik*... Accoustique; phénomènes fondamentaux et lois des corps à ton simple. Leipzig. In-8°, VIII-356 p., avec 87 fig. 8f,75.

v. Oppolzer. *Ermittlung*... Détermination des valeurs d'interruption dans les coordonnées par la variation de constantes convenablement choisies. Vienne. In-4°, 31 p. 2f,50.

Rammelsberg. *Elemente*... Éléments de cristallographie pour les chimistes. Berlin. In-8°, VIII-208 p., avec 151 fig. 6f,25.

Woldřich. *Beiträge zur Fauna*... Contributions à la faune des brèches et autres formations diluviennes de l'Autriche avec considérations particulières sur le cheval. Vienne. In-8°, 36 p., avec 2 pl. 2f,50.

GRASHOF. *Theoretische*... Cours théorique de machines. T. II, livr. 4. Hambourg. In-8°, XII et p. 577-873. 8f,25.

SCHWACKHÖFER. *Lehrbuch*... Traité de technologie chimique agricole. Vienne. In-8°. Livr. 3. T. I, p. 161-240, avec 1 pl. 2f,50.

—— *Technologie*... Technologie de la chaleur et de l'eau, avec examen spécial de la conduite des chaudières à vapeur. Vienne. In-8°, X-248 p., avec 1 pl. 8 fr. (Extr. de l'ouvrage précédent.)

UHLAND. *Die Woolf'schen*... Les machines de Woolf et Compound. Leipzig. In-4°, 2e part. III et p. 33-63, avec 10 pl. 7f,50.

—— *Handbuch*... Manuel du constructeur de machines. Leipzig. In-4°. Livr. 27-29. Chaque livraison 3f,75.

—— *Fortschritte*... Progrès de l'industrie et de la technique. T. 1er, 2e partie. Iéna. In-8°, 112 p., av. 25 pl. 11f,25.

BACH. *Die Construction*... La construction des pompes à feu. Stuttgard. In-8°, VII-210 p. 20 fr.

BECKER. *Handbuch*... Manuel de la science de l'ingénieur. T. V, 8e fasc. Leipzig. In-8°, VI-81 p., avec 6 pl. 7f,50.

v. ERNST. *Die Montanindustrie*... L'industrie minière de l'Italie. Vienne. In-8°, III-118 p. 2f,50.

JAPING. *Die elektrische*... Le transport des forces par l'électricité et son emploi dans la pratique. Vienne. In-8°, XVI-259 p., avec 45 fig. 3f,75.

—— *Die Elektrolyse*... L'électrolyse, la galvanoplastie et la préparation des métaux purs. Vienne. In-8°, XVI-260 p., avec 46 fig. 3f,75.

LEDEBUR. *Handbuch*... Manuel de la sidérurgie. 1re part. Leipzig. In-8°, 287 p. 12f,50.

v. REICHE. *Der Dampfmaschinen*... Le constructeur de machines à vapeur. 2e part. Aix-la-Chapelle. In-8°, VIII-258 p., avec un atlas de 22 pl. 20 fr.

v. SCHROEDER und C. REUSS. *Die Beschädigung*... Les dommages causés à la végétation par les fumées, et les dégâts dus aux fumées des usines de l'Oberharz. Berlin. In-4°, VI-333 et XXXV p., avec 5 pl. et 2 cartes en couleur. 30 fr.

KRÜGER. *Die Lehre*... Traité des combustibles. Iéna. In-8°, X-118 p. 2f,85.

KUPKA. *Die Verkehrsmittel*... Les moyens de transports commerciaux aux États-Unis. Leipzig. In-8°, X-413 p., avec une carte chromolithographiée. 11 fr.

LUNGE. *Taschenbuch*... Manuel de la fabrication de la soude, de la potasse et de l'ammoniaque. Berlin. In-12, XII-194 p., 7f,50.

v. URBANITZKY. *Die elektrischen...* Les systèmes d'éclairage électrique, avec considérations spéciales sur leur emploi pratique. Vienne. In-8°, XVI-240 p., avec 62 fig. 3f,75.

—— *Das elektrische Licht...* La lumière électrique et les lampes, charbons et autres corps employés à la produire. Vienne. In-8°, XVI-223 p., avec 89 fig. 3f,75.

FALKENBURG. *Neue Schieberdiagramme...* Nouveaux diagrammes et nouvelle théorie de la distribution de la vapeur avec application aux distributions des machines fixes et locomotives. Leipzig. In-8°, III-111 p., avec 9 pl. 5 fr.

FLIMMER. *Ueber rauchfreie...* Sur la combustion sans fumée. Leipzig. In-8°, 32 p., avec 2 pl. 1f,50.

HOPPE. *Die Bergwerke...* Les mines, les ateliers de préparation mécanique et les usines de l'Oberharz et de l'Unterharz, avec un appendice pour les excursions géologiques par *v. Groddeck*. Clausthal. In-8°, XXIV-387 p. 6f,90.

KAREIS und BECHTOLD. *Katechismus...* Cathéchisme de la télégraphie des chemins de fer et des signaux électriques. Vienne. In-8°, V-157 p., avec 15 pl. 5 fr.

LINDNER. *Die Elektricität...* L'électricité au service du commerce et de l'industrie. Leipzig. In-4°, 29 p., avec 8 pl. 6f,25.

PÜTSCH. *Die Sicherung...* L'assurance des ouvriers contre les dangers qui menacent leur vie et leur santé dans les fabriques. 1er demi-vol. Berlin. In-8°, XVI-144 p. 6f,50.

BROGGER. *Die silurischen Etagen...* Les étages 2 et 3 du terrain silurien dans le district de Christiania et sur l'Eker, leurs divisions, leurs fossiles, leurs accidents de stratification et leurs métamorphismes de contact. Christiania. In-4°, 1, VIII 388 p. 22f,50.

ERK. *Die Bestimmung...* Détermination de la véritable moyenne journalière de la température, d'après la considération spéciale des observations faites durant de longues années à Munich, avec remarques préparatoires de *W. v. Bezold*. Munich. In-4°, 55 p., av. 3 pl. 2 fr.

FREYER. *Studien...* Études pour la métaphysique du calcul différentiel. Ilfeld. In-4°, 39 p., av. 1 pl. 1f,25.

KÖTTE. *Ueber das Gleichgewicht...* Sur l'équilibre des surfaces flexibles, inextensibles. Halle. In-8°, 66 p. 1f,90.

OLBRICHT. *Beiträge...* Contributions à la connaissance de l'action du gaz ammoniac sec sur les chlorures de zinc, de cadmium et de nickel fondus. Breslau. In-8°, 33 p. 1f,25.

POSEWITZ. *Unsere geologischen*... Nos connaissances sur la géologie de Bornéo. Bude-Pesth. In-8°, 31 p., av. 1 carte géologique en couleurs. 1f,50.

REIS. *Die periodische Wiederkehr*... Le retour périodique de la pénurie et du manque d'eau en rapport avec les taches du soleil, les aurores boréales et le magnétisme terrestre. Leipzig. In-8°, VIII-124 p., av. 6 fig. 2f,50.

REMELÉ. *Untersuchungen*... Recherches sur les galets fossilifères du diluvium de la plaine du nord de l'Allemagne avec considération spéciale de la Marche de Brandebourg. 1re partie, 1re livraison. Berlin. In-4°, CLII p., av. 1 carte. 20 fr.

ROEMER. *Die Knochenhöhlen*... Les cavernes à ossements d'Ojcow en Pologne. Cassel. In-4°, 43 p., av. 12 pl. 50 fr.

Sammlung. . Collections de mémoires paléontologiques. 1re série, fasc. 1 (FELIX. *Die fossilen*... Les bois fossiles des Indes occidentales) Cassel. In-4°, 29 p., av. 5 pl. 10 fr.

SEMPER. *Reisen im Archipel*... Voyages dans l'archipel des Philippines. 2e partie Résultats scientifiques. T. IV, 1re partie, 1re moitié. Wiesbaden. In-4°, 56 p., av. 7 pl. 25 fr.

WENGHÖFFER. *Die wichtigsten*... Les principaux résultats des recherches chimiques faites en 1882 sur les combinaisons du carbone. Stuttgard. In-8°, 60 p. 1f,50.

HAMPE. *Ueber die Analyse*... Sur l'analyse des matières explosives Berlin. In-4°, 26 p. 1f,25.

v. KERPELY. *Bericht*... Rapport sur les progrès de la technique des usines à fer en 1879 et 1880. 11e-17e année. Leipzig. In-8°. 148f,75.

SCHWARTZE. *Telephon*... Téléphone, microphone et radiophone, avec examen spécial de leurs applications pratiques. Vienne. In-8°, XVI-232 p., av. 119 fig. 5f,75.

STROTT. *Die Baumaterialien*... Les matériaux de construction. Halle. In-8°, XV-245 p. 3f,75.

ZECH. *Elektrisches*... Recueil de formules électriques, avec un appendice contenant la terminologie électrique en allemand, français et anglais. Vienne. In-8°, XIV-223 p., av. 15 fig. 3f,75.

OUVRAGES ITALIENS.

BARETTI. *Relazione...* Rapport sur la constitution géologique du versant droit de la vallée de la Dora Riparia entre Chiomonte et Salbertrand. Turin. In-8°, 25 p. et 7 pl.

ZANON. *Governo...* Conduite des chaudières et machines à vapeur; leçons. Venise. In-16, 281 p. 2f,50.

BELLARDI. *I molluschi...* Les mollusques des terrains tertiaires du Piémont et de la Ligurie. 3e partie : Gastéropodes. Turin. In-4°, 253 p., av. 12 pl 30 fr.

VIRGILIO. *Le marmitte...* Les marmites des géants du Ponte del Roc (Lanzo). Turin. In-8°, 19 p. (Extr. des *Atti della R. Accad. d. scienze di Torino*).

CAPPA. *Sulla determinazione...* Sur la détermination graphique de la racine cubique d'une droite; note. Turin. In-8°, 16 p. (Extr. des *Atti della Societa d. ingegneri ed industriali di Torino*).

MANZONI. *La struttura...* La structure microscopique des éponges siliceuses du miocène moyen des provinces de Bologne et de Modène. Bologne. In-4°, 24 p. av. 7 pl. 5 fr.

CAVALLERO. *Le macchine...* Les machines à vapeur, le matériel et l'exploitation technique des chemins de fer. Thermodynamique. Aérodynamique. Turin. Gr. in-8°, XXIV-705 p. av. 102 fig. et atlas de 33 planches. 20 fr.

CENNI *sulla miniera...* Renseignements sur la mine de galène argentifère appelée Borgoratto, dans le territoire de Garessio, province de Cuneo. Salerne. In-8°, 18 p.

SBRIZIOLO. *Trattato di chimica...* Traité de chimie analytique qualitative et quantitative. Naples. In-16, 574 p. 6 fr.

—— *Trattato di chimica...* Traité de chimie générale inorganique et organique. Naples. In-8°. 12 fr.

BIANCHINI. *Delle oscillazioni...* Des oscillations du sol sur la côte de Crète. Rome. In-8°, 18 p. (Extr. de la *Riv. marittima*).

BISSACANI. *La teoria...* La théorie des mensurateurs Siemens. Naples. In-8°, 28 p.

GIUDICE. *Nuovo metodo...* Nouvelle méthode pour la détermination volumétrique du zinc. — Nouvelle méthode pour la préparation de l'acide chlorhydrique pur. — Appareil de Bunsen, à gaz oxhydrique avec commutateur. Turin. In-8°, 16 p. (Extr. du *Giorn. di farmacia, di chimica e scienze affini*).

GUIDI. *Del calcolo...* Du calcul graphique des mouvements de la terre ; note. In-8°, 8 p. (Extr. des *Atti della Societa d. ingegneri ed industriali di Torino*).

PATERNO. *Ricerche...* Recherches sur les projections orthogonales de la droite ; note. Palerme. In-8°, 7 p., av. 1 pl. (Extr. des *Atti del Collegio d. ingegneri ed architetti*).

Congrès géologique international. Bologne 1881. Compte rendu de la 2ᵉ session. Bologne. In-8°, 661 p.

FRANCO. *Elementi...* Éléments de minéralogie et de géologie à l'usage des écoles d'Ingénieurs et des Instituts techniques. Naples. In-8°, 367 p., av. 103 fig. 5 fr.

GILARDINI *Principio...* Principe de la science hydraulique italienne ; mémoire. Milan. In-16, 25 p.

ROUELLA. *Sugli enti...* Sur les systèmes géométriques de droites dans l'espace engendrés par les intersections de complexes correspondants en deux ou plusieurs faisceaux projectifs de complexes linéaires ; mémoire. Piazza Armerino. Gr. in-8°, 31 p.

DE MARCHI. *I prodotti...* Les produits minéraux de la province de Rome. Rome. In-8°, 117 p. (Extr. des *Annali di statistica*).

JERVIS. *Della relazione...* Des rapports entre la géologie et la géographie physique. Turin. In-8°, 39 p. (Extr. des *Atti della Filotecnica*).

BELLUCCI. *L'uomo...* L'homme tertiaire en Portugal. Florence. In-8°, 47 p. av. 1 pl. (Extr. de l'*Archivio per l'antropologia e l'etnologia*).

BELTRAMI. *Sulle funzioni...* Sur les fonctions associées et spécialement sur celles de la calotte sphérique ; mémoire. Bologne. In-4°, 38 p. (Extr. des *Mem. dell' Accad. d. scienze dell' Istit. di Bologna*.

BOMBICCI. *Montagne...* Montagnes et vallées du territoire de Bologne. Bologne. In-8°, 208 p., av. 2 pl. en couleurs.

BRIZIO. *La grotta...* La grotte du Farnè dans la commune de San Lazzaro, près de Bologne. Bologne. In-4°, 50 p., avec 3 pl. (Extr. des *Mem. dell' Accad. d. scienze dell' Istit. di Bologna*).

DE ZOLTE. *Principii...* Principes de l'équivalence des polyèdres et des polygones sphériques. Milan. In-8°, 48 p. 1 fr.

FINO. *Sulla rodonite...* Sur la rhodonite de Viù ; note. Turin. In-8°, 7 p. (Extr. des *Atti della R. Accad. d. scienze di Torino*).

NAZZANI. *Trattato...* Traité d'hydraulique pratique. T. I. Milan. In-8°, XXVI-636 p., av. 299 fig. 18 fr.

PARONA e CANAVARI. *Brachiopodi...* Brachiopodes éolithiques de quelques localités de l'Italie septentrionale. Pise. In-8°, 22 p., avec 3 pl.

PINTO. *Sulla tensione...* Sur la tension et sur le potentiel électrique; note. Rome. In-8°, 20 p. (Extr. du *Telegrafista*).

PUCCI. *Fondamenti...* Fondements de géodésie. T. I. Milan. Gr. in-8°, XXI-403 p., av. 52 fig. 10 fr.

RICCIARDI. *Sulla composizione...* Sur la composition chimique de diverses couches d'un même courant de lave sorti de l'Etna en 1669. Catane. In-8°, 6 p.

ROVELLI. *La teoria...* La théorie de la fonction potentielle de Green appliquée à l'étude des phénomènes de la gravitation universelle. Côme. In-8°, 96 p. 2 fr.

SILVESTRI. *Sulle acque...* Sur les eaux qui circulent et jaillissent dans les régions de l'Etna. Partie III. Catane. In-4°, 90 p., av. 4 pl.

SOMMA. *Sulle armi...* Sur les armes de pierre et de bronze trouvées en divers points de l'Etna. Catane. In-4°, 18 p. et 1 pl. (Extr. des *Atti dell' Accad. Gioenia d. scienze matem. in Catania*).

SORDELLI. *Sui fossili...* Sur les fossiles et sur l'âge du dépôt tertiaire de la Badia près Brescia. Milan. In-8°, 10 fr.

TARAMELLI. *Descrizione...* Description géologique de la province de Pavie. Milan. In-4°, 104 p., av. carte géologique en couleurs à l'échelle de 1 à 200.000.

GUARDUCCI. *Sopra due problemi...* Sur deux problèmes de trigonométrie sphérique; note. Turin. Gr. in-8°, 11 p., avec 1 pl.

—— *Metodo grafico...* Méthode graphique pour la réduction des observations géodésiques azimutales au centre trigonométrique; note. Turin. Gr. in-8°, 6 p., avec 1 pl.

ERMACORA. *Sopra un modo...* Sur une manière d'interpréter les phénomènes électrostatiques, essai sur la théorie du potentiel. Padoue. In-8°, XI-408 p.

FERRARIO. *Sulla conferenza...* Sur la conférence internationale d'électricité; rapport. Rome. (Extr. des *Annali dell' industria e del commercio*).

JADANZA. *Alcuni problemi...* Quelques problèmes de géodésie. Turin. In-4°, 33 p. 3 fr. (Extr. des *Mem. della R. Accad. d. scienze di Torino*).

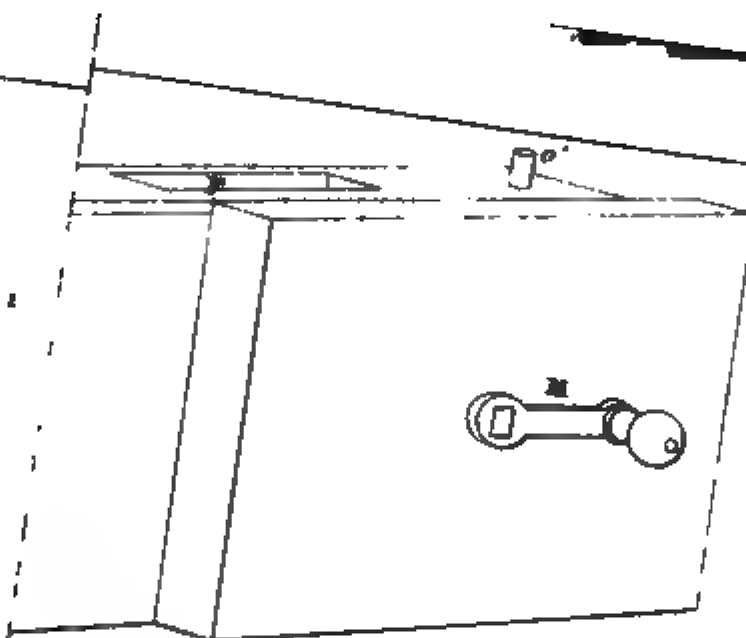
LIRONCURTI. *Sull' esercizio...* Sur l'exploitation des voies ferrées en Italie; statistique et renseignements. Rome. In-8°, 144 p. 3 fr.

Riassunto... Résumé des observations météorologiques faites dans l'année 1881-82. Oneglia. In-4°, 16 p. (*Annali dell' Osservatorio meteorologico di Porto-Maurizio*).

Ricordi. *I movimenti...* Les mouvements infinitésimaux dans la détermination générale de mesure projective. Viterbe. In-8°, 68 p. 2f,50.

Secco. *Noti...* Notes géologiques sur la région de Bassano. Bassano. In-4°, 31 p., avec 2 pl.

Bassani. *Descrizione...* Description des poissons fossiles de Lesina accompagnée de renseignements sur quelques autres formes ichtyologiques crétacées. Vienne. In-4°, 96 p., av. 16 pl. 15 fr.


Fig 1
Fig 2
M

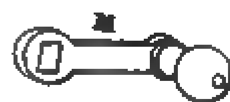
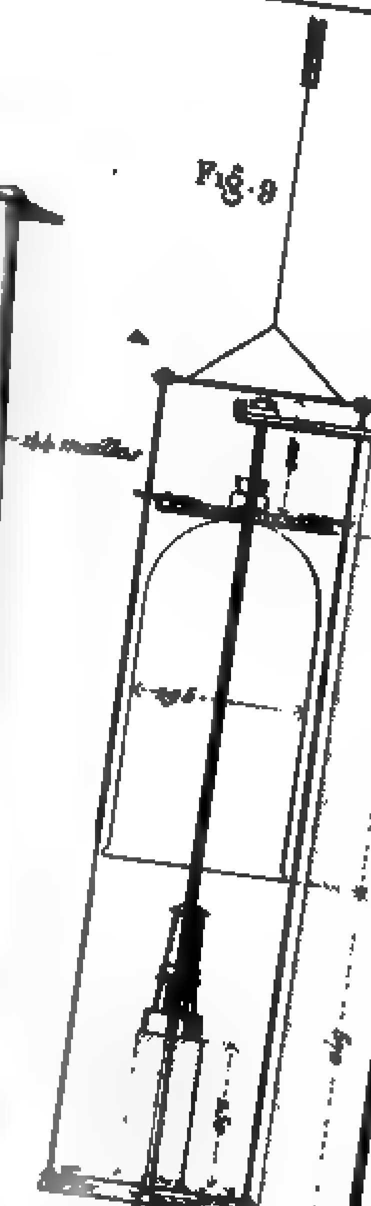



Fig 7


Fig 9

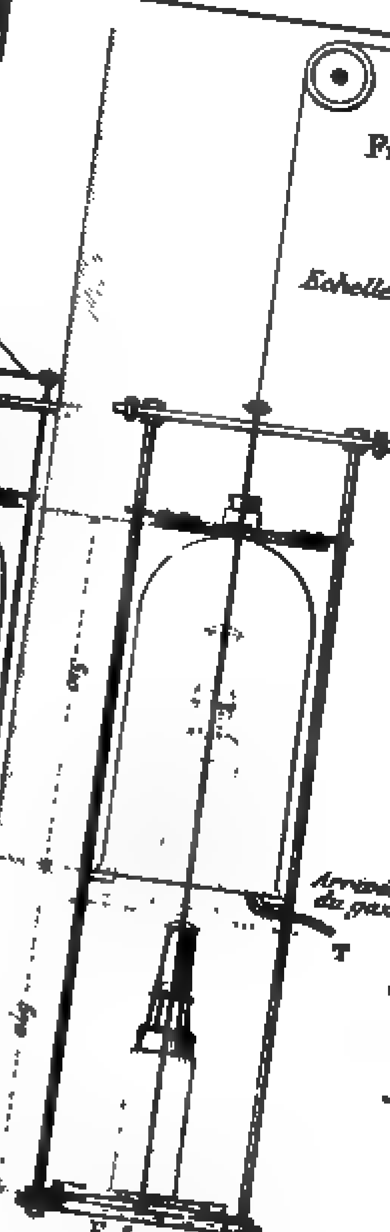
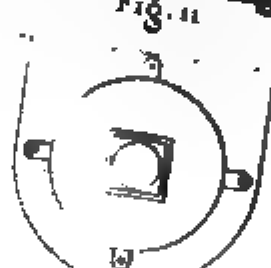

Fig 10
Echelle de 1/20
Arrivée du gaz
T
Fig 11


Fig 8
rondelle A
1/2 grand



Hacquet sc.

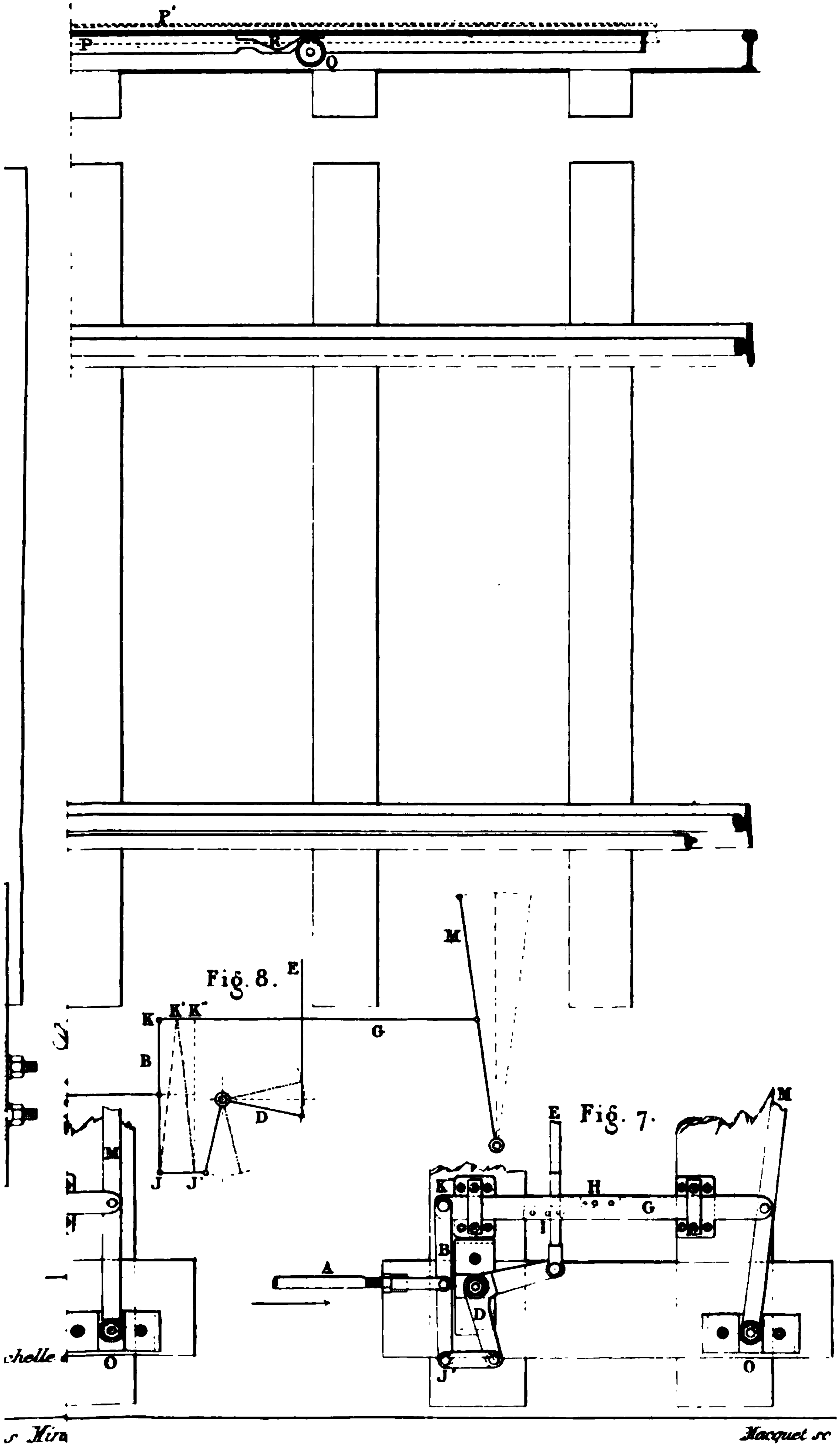

Système Dujour)
P'
P
R
O
Fig. 8.
E
K
K'
K''
G
M
B
D
J
J'
Fig. 7.
E
M
K
H
G
I
B
A
D
J'
O
O
M
chelle
s Mir
Macquet sc

DIAGRAMME 1

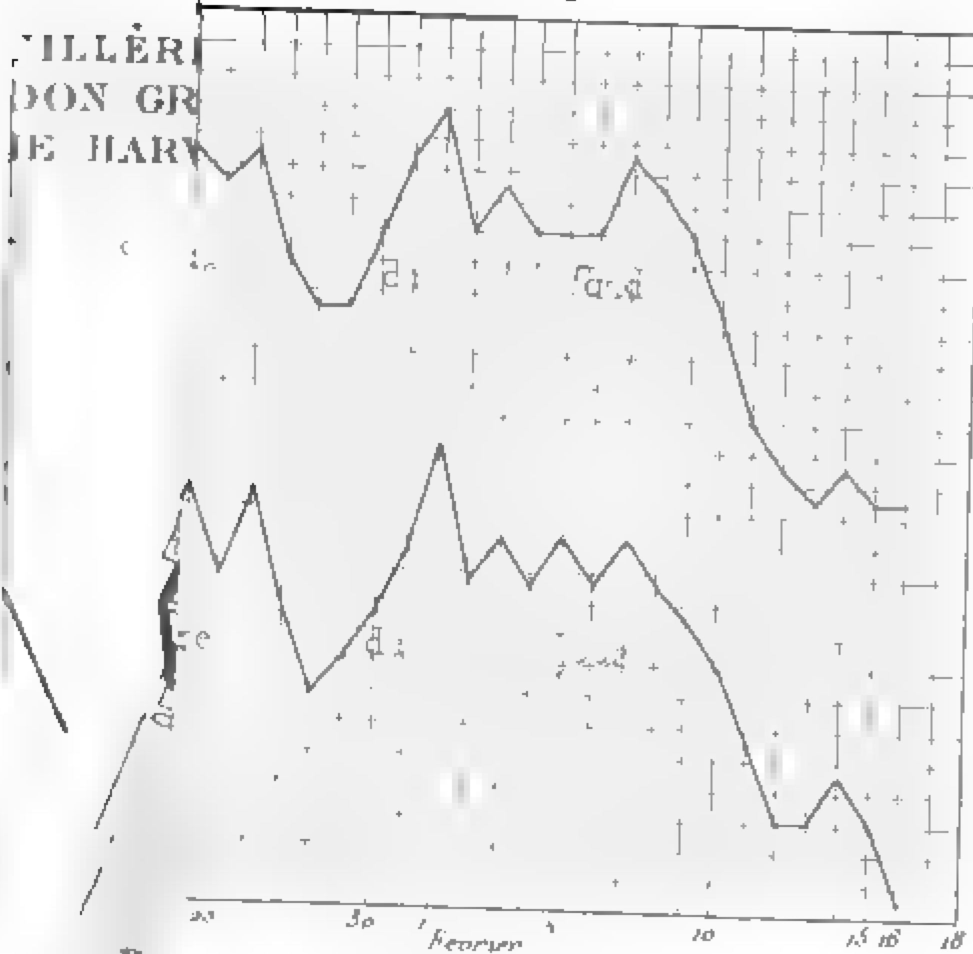


DIAGRAMME 2

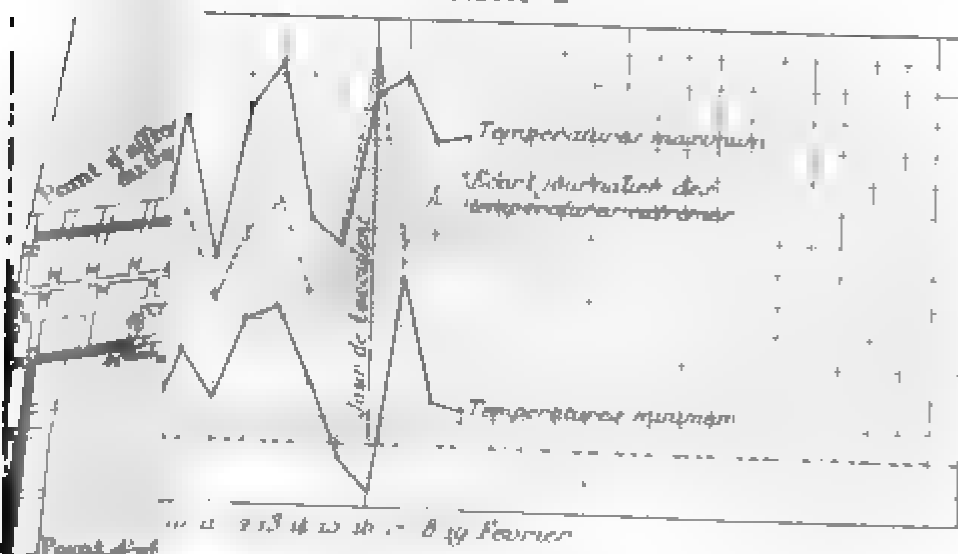
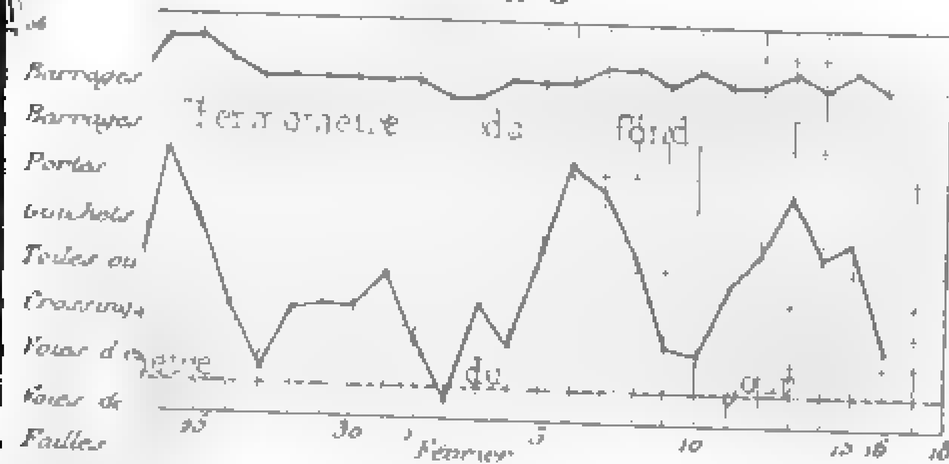


DIAGRAMME 3

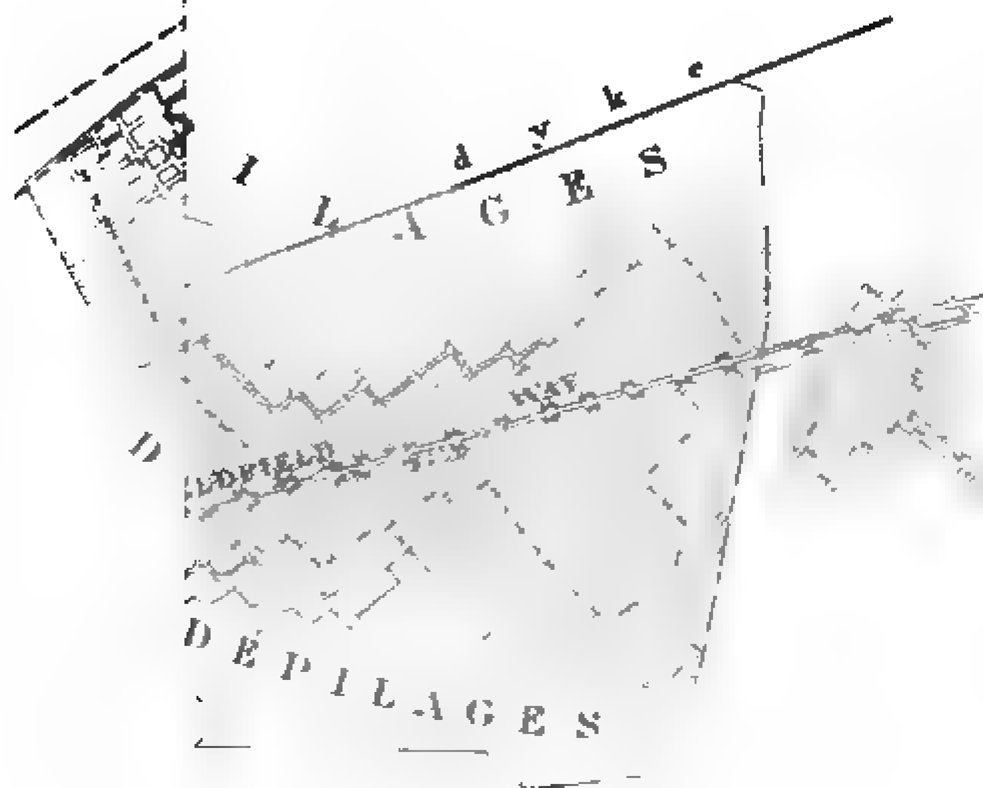


Barrages
Barrages
Portes
Touchets
Toiles ou
Croisemen
Voies d'
Voies de
Failles
8e Série

UILLÈRE DE TUDHOE

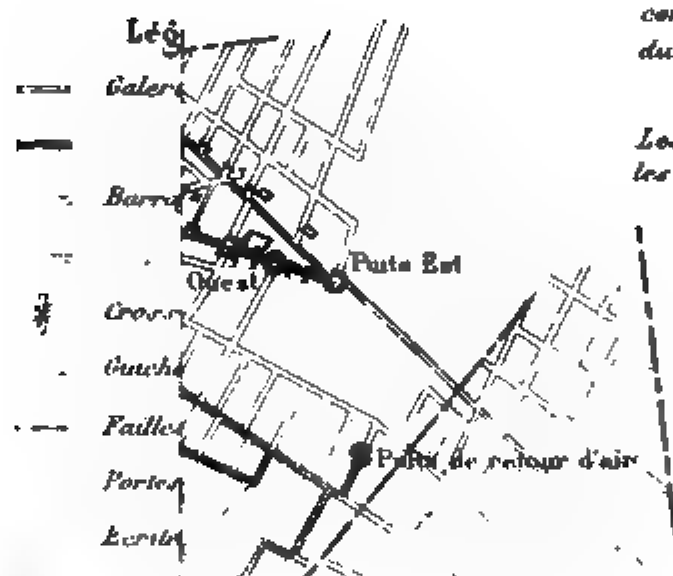
Couche Brockwell

Districts du Nord et de l'Ouest



A,B,C, *Ces lettres sont placées au voisinage des points signalés comme points origines de l'explosion du 18 Avril 1882*

Les nos d'ordre (1 à 37) marquent les places des victimes



Lég
Galer
Barra
Cross
Couch
Faille
Portes
Ecrit

Marquet sc.

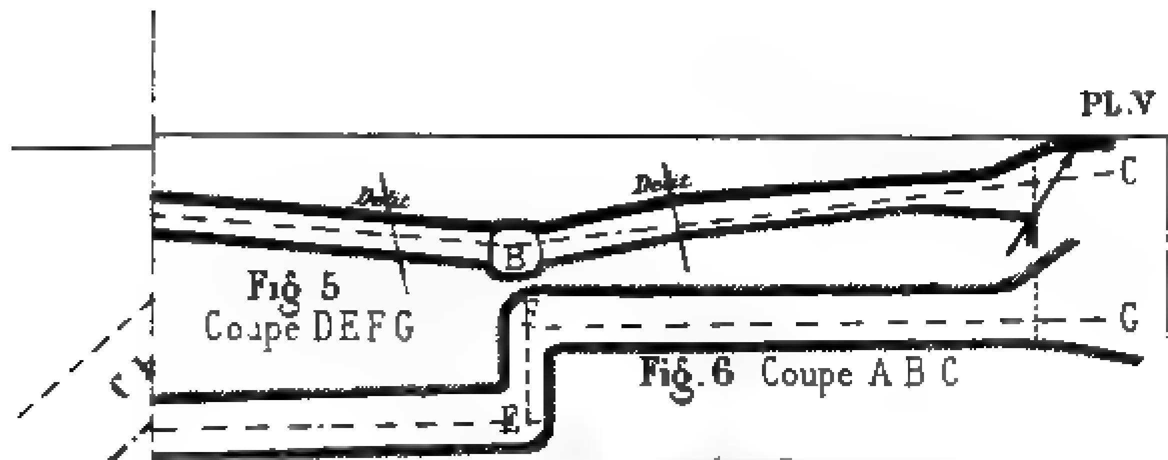


Fig 5 Coupe DEFG

Fig. 6 Coupe A B C

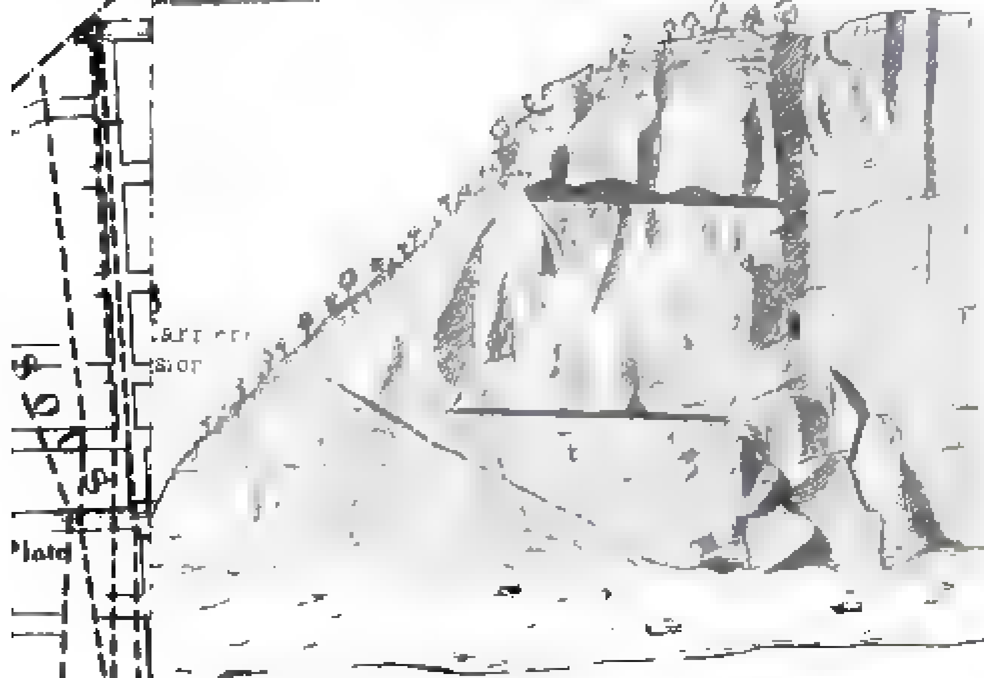



Fig 3
Plan de la carriere apres l'explosion

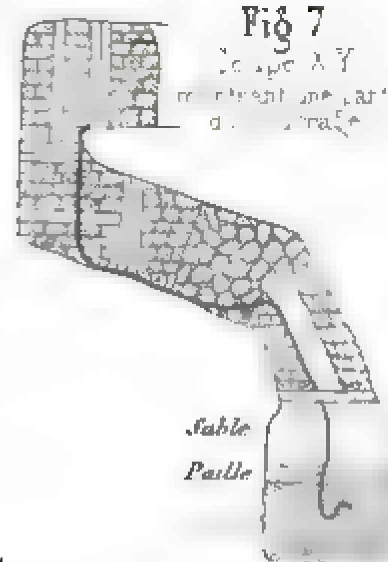


Fig 7 Coupe X Y

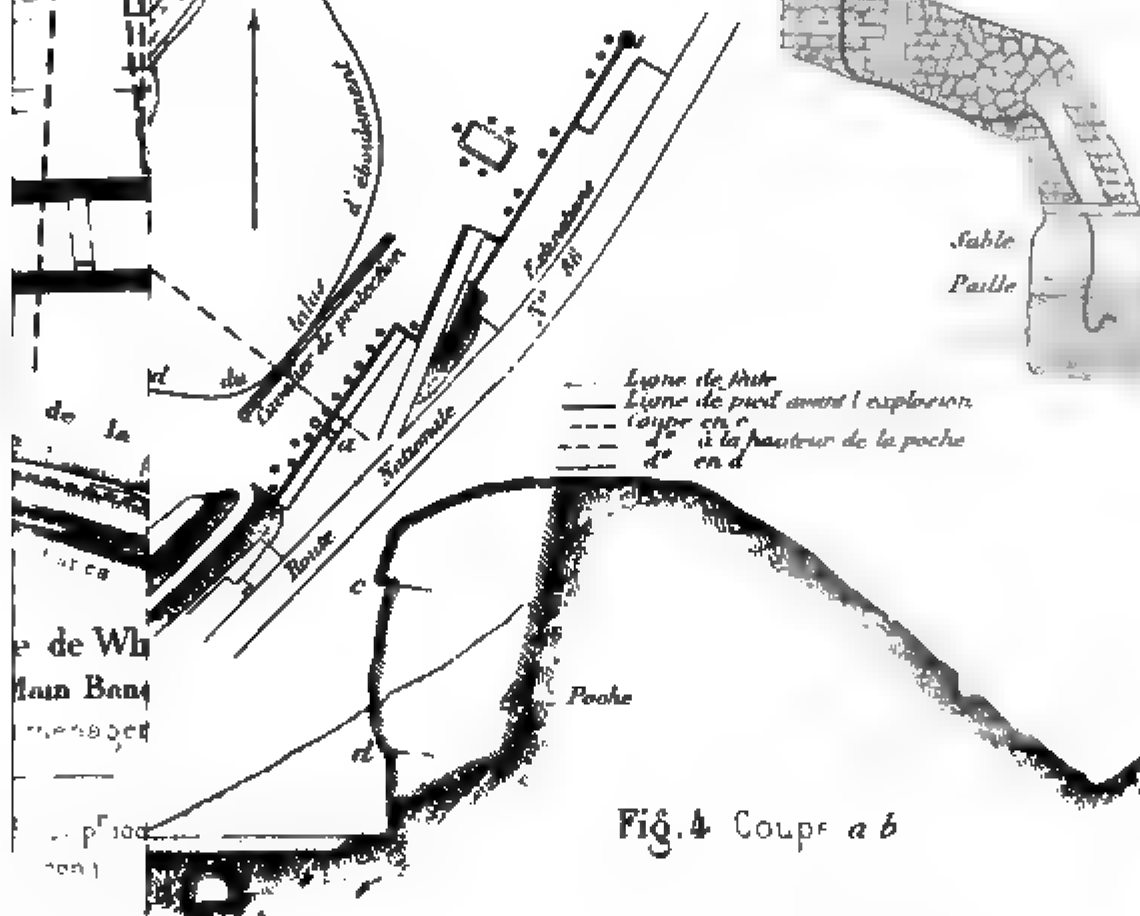


Fig. 4 Coupe a b

Macquet sc

Coussinet pour rail en Acier de 21k.865

Fig. 7 Elévation; Type Bullheaded

CHEMINS DE FER CORSES

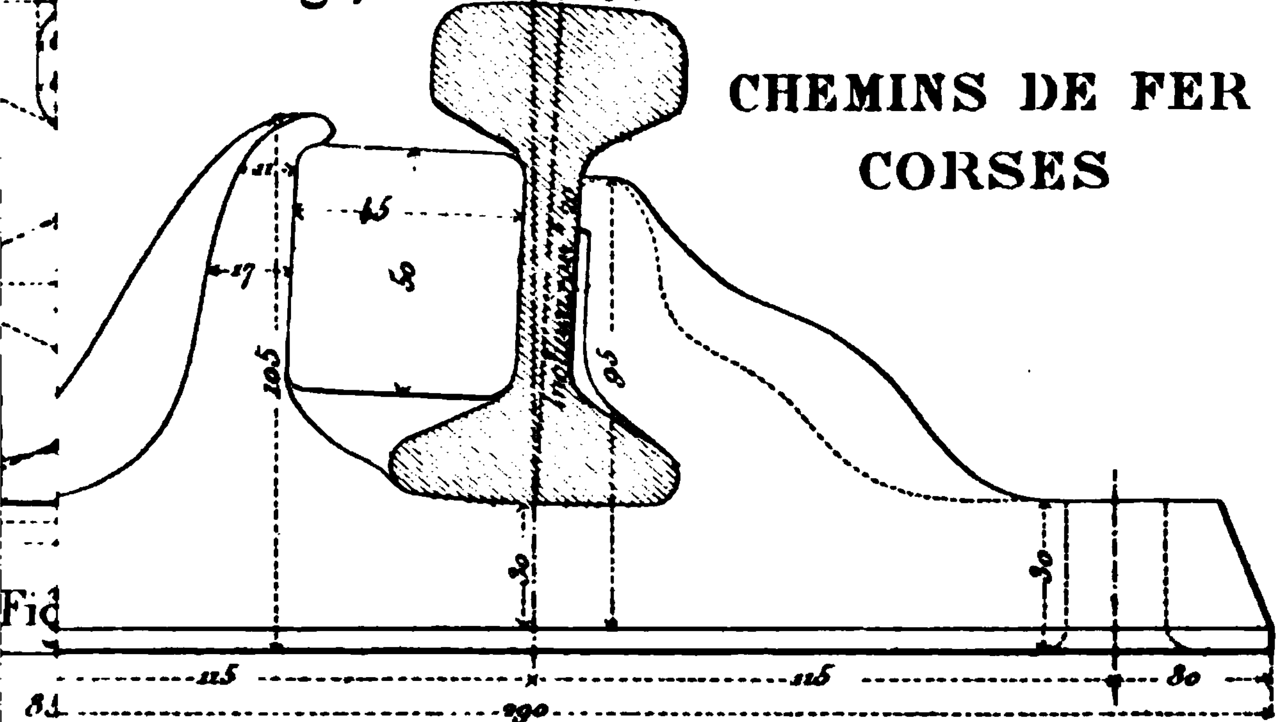
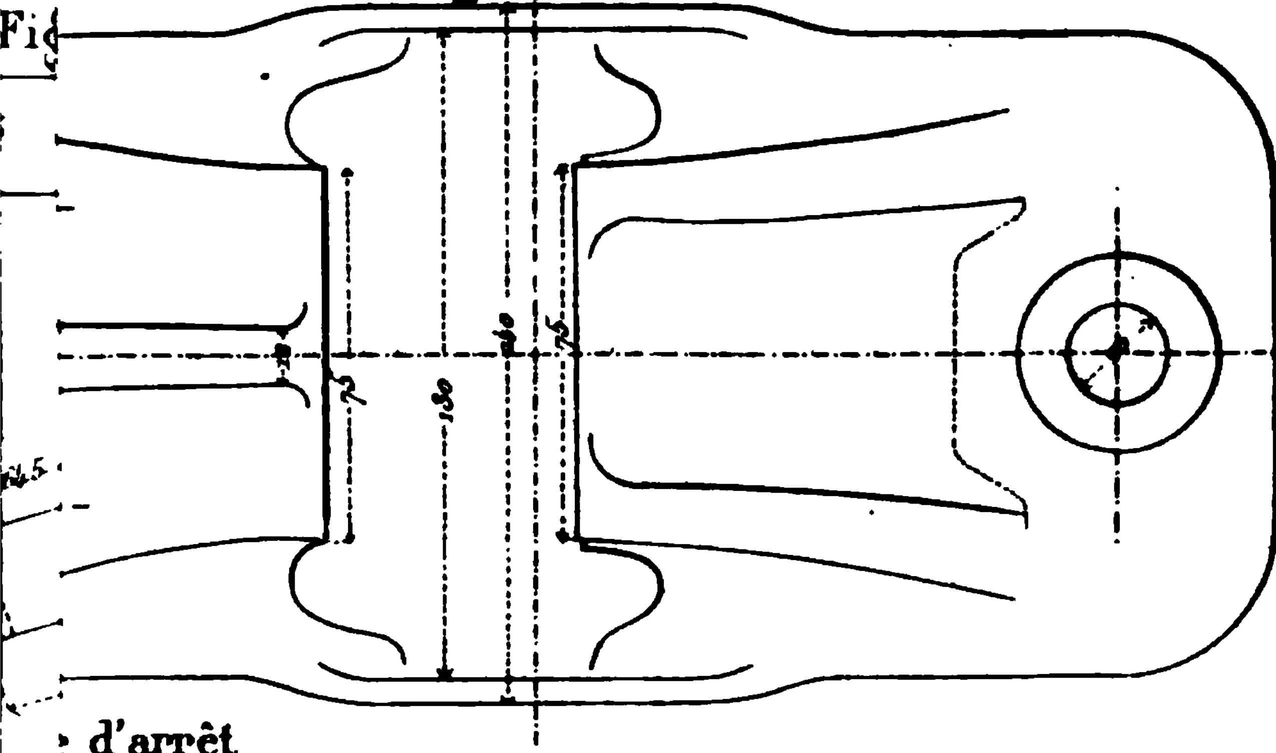


Fig. 8, Plan



d'arrêt

Fig. 10 Détail d'un joint, Elévation

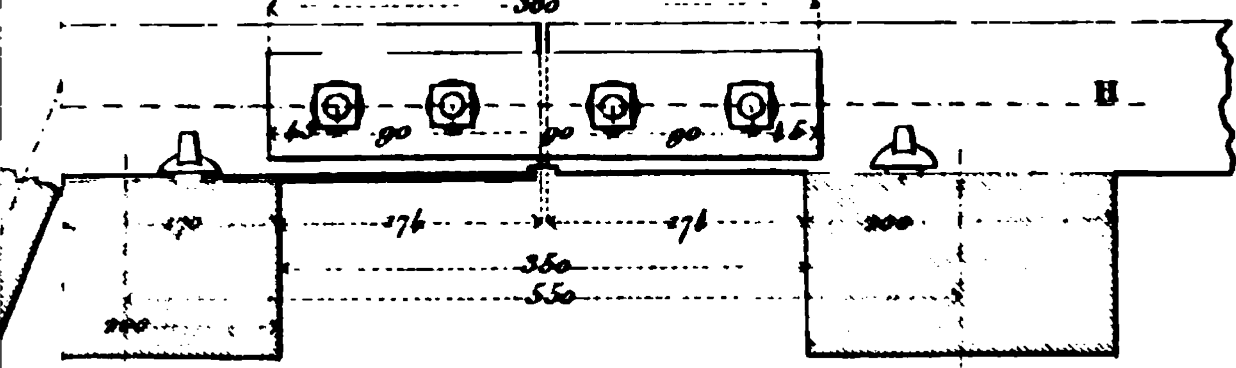
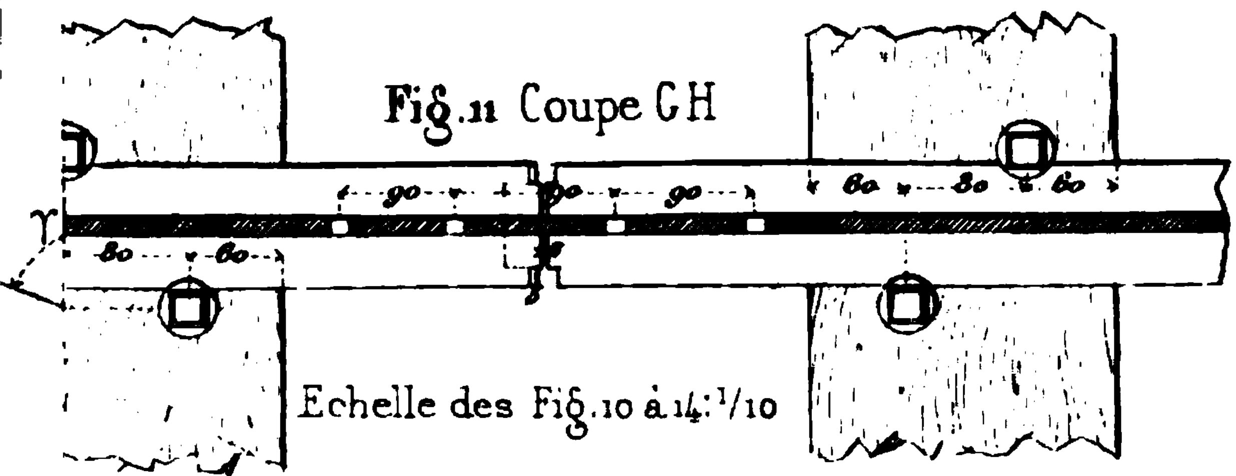


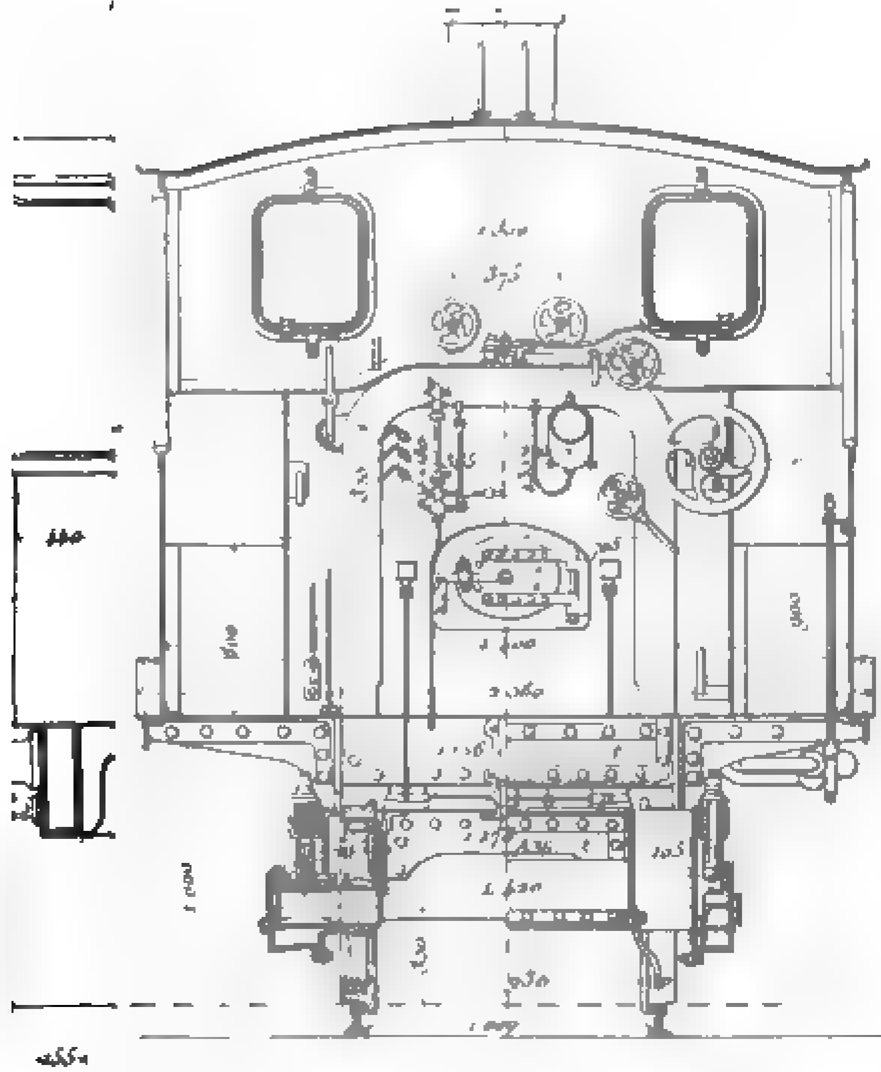
Fig. 11 Coupe GH



Echelle des Fig. 10 à 14: 1/10

Macquet sc.

Fig 2



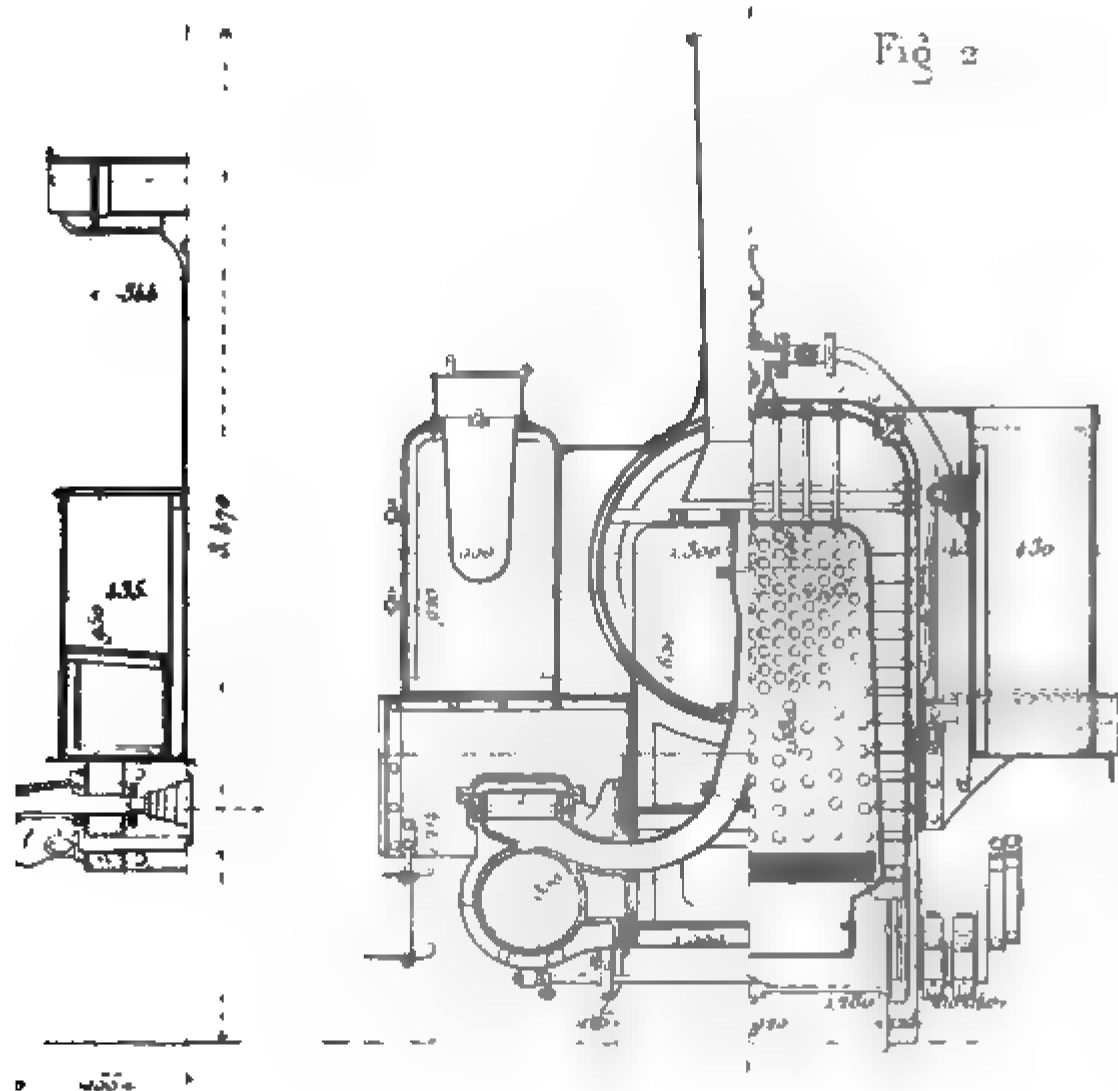
: Bissel

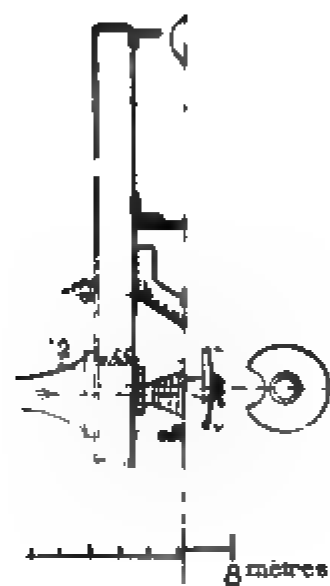


CHEMINS DE FER CORSES

7 — 8 metres

Macquet sc

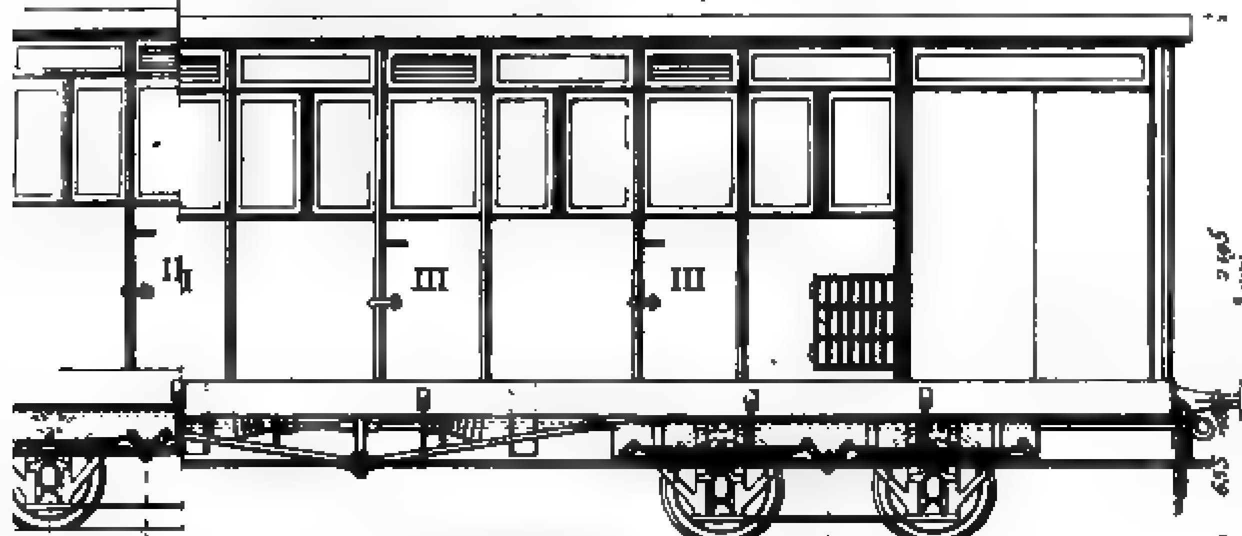




CHEMINS DE FER CORSES

Macquet sc

classe à trains articulés (40 places)



classe 24

Fig 4

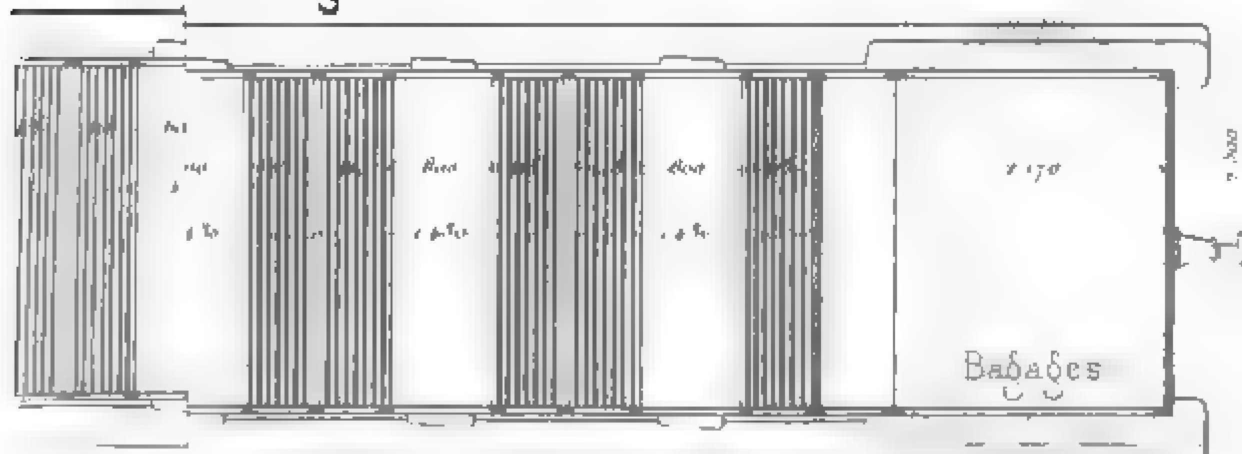
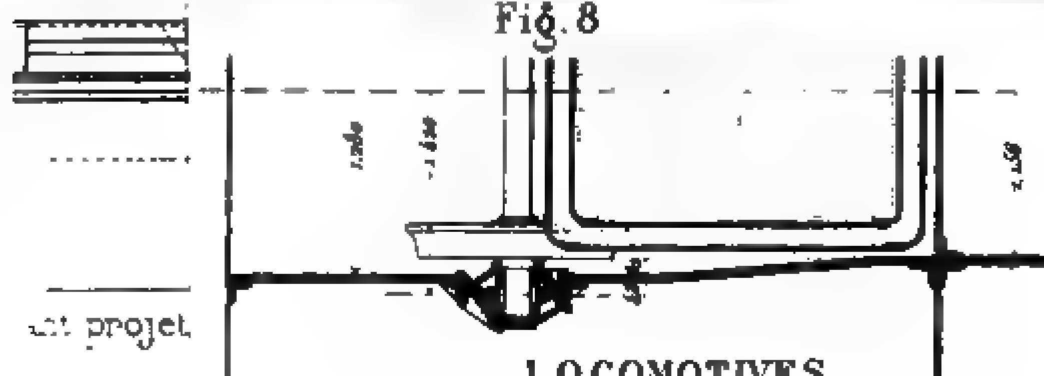


Fig. 8

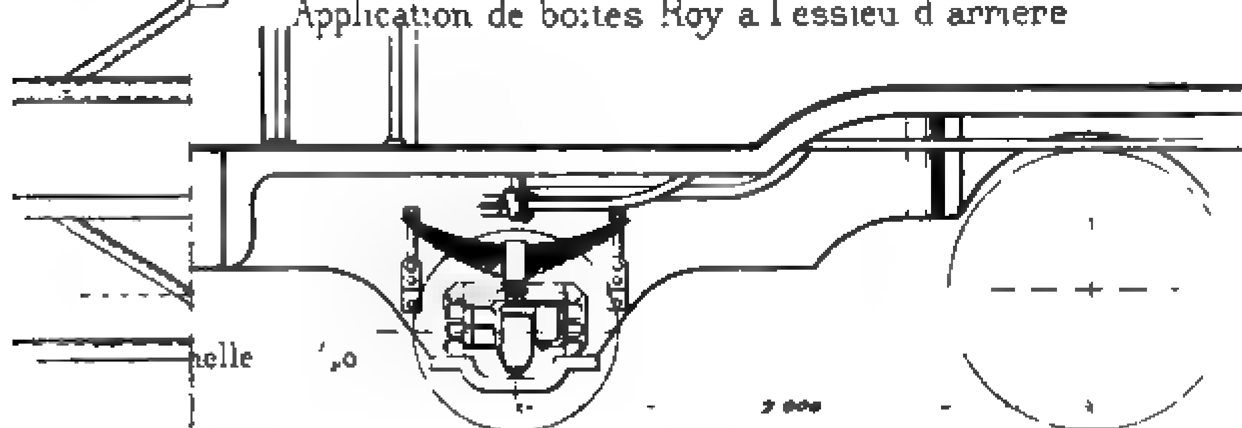


ant projet

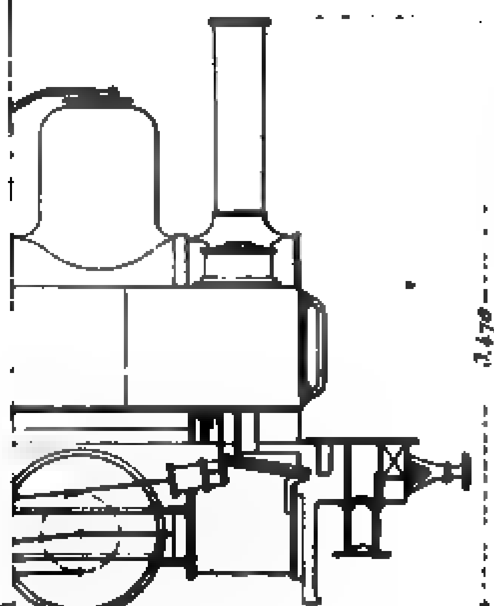
LOCOMOTIVES

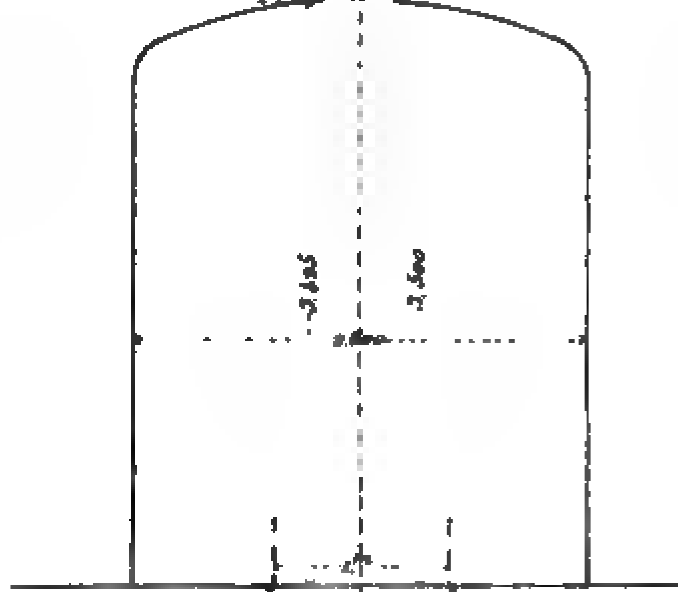
Fig 9

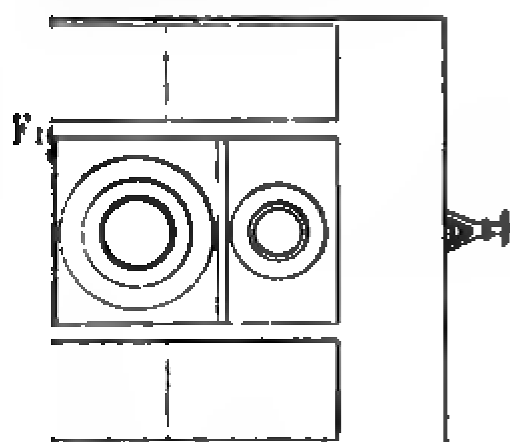
Application de boîtes Roy à l'essieu d'arrière



nelle

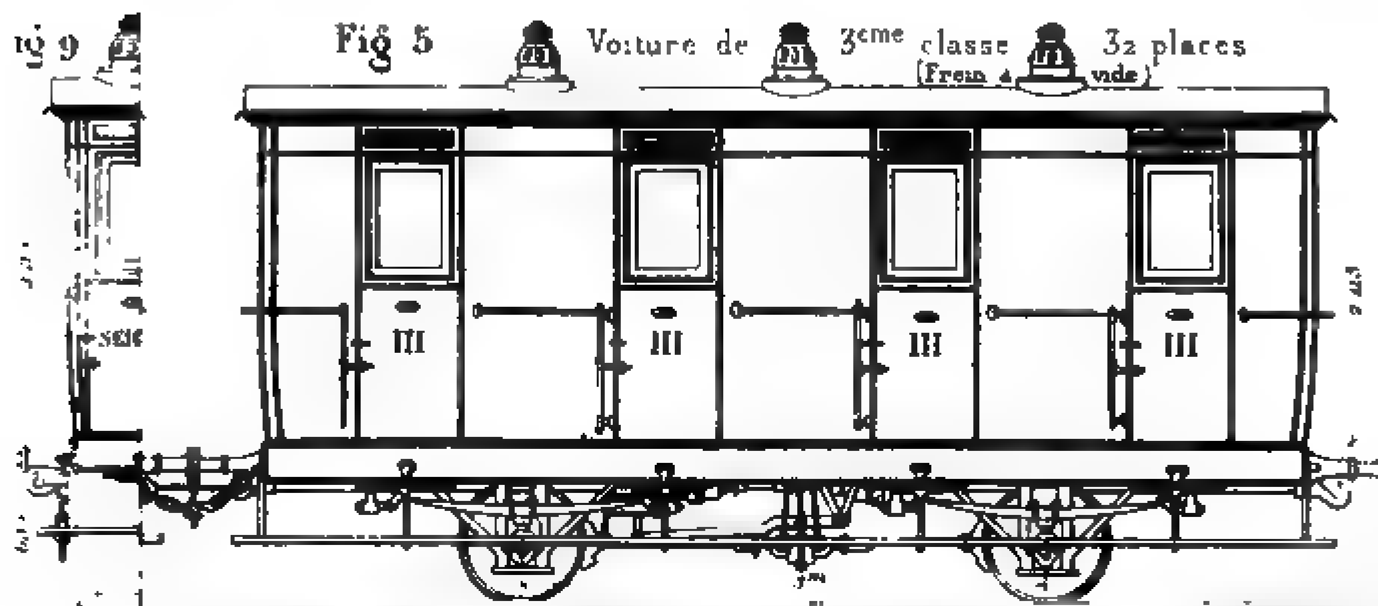


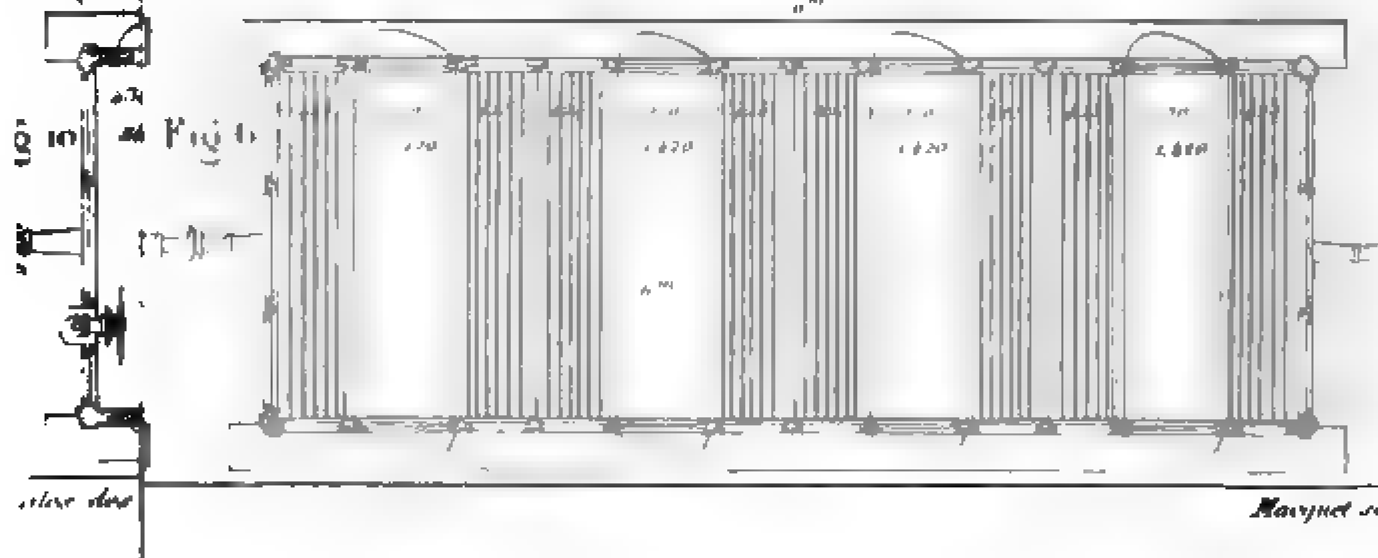




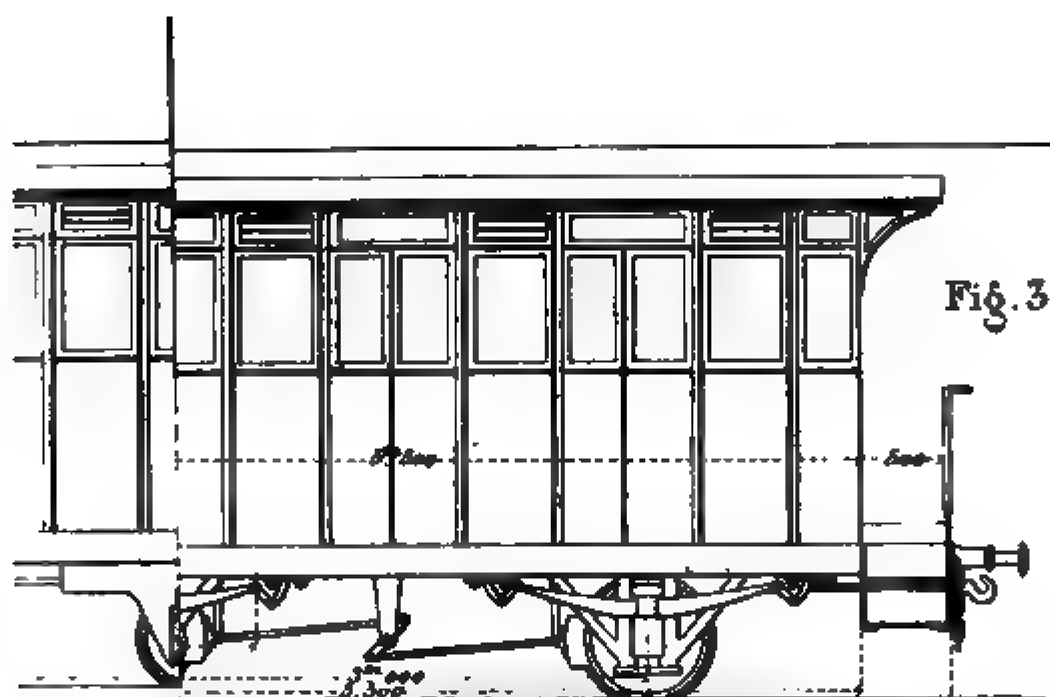
CHEMINS DE FER CORSES
AVANT-PROJET
de Materiel à Voyageurs

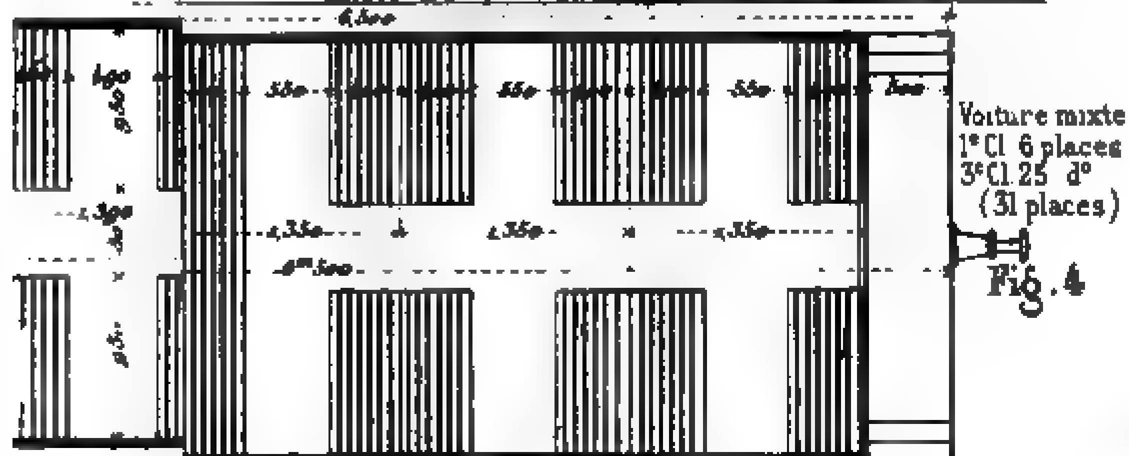
Echelle 0 015 pour 1 metre

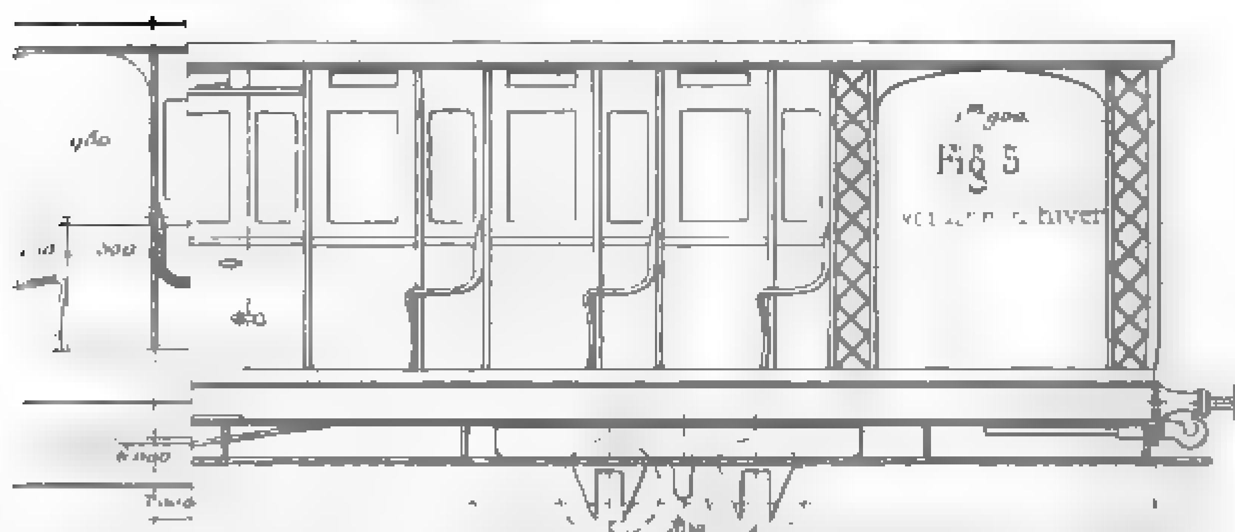


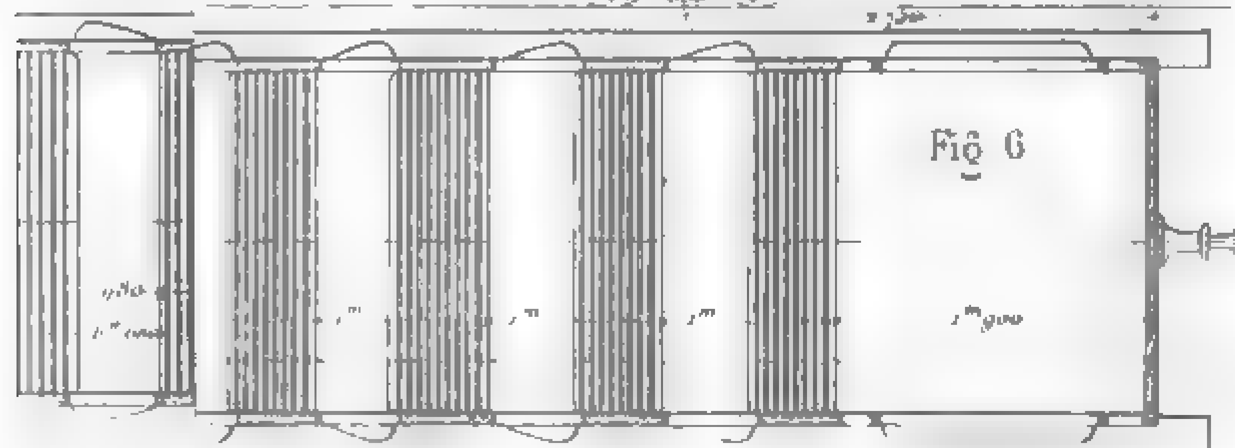


Marquet sc


Fig. 3


Voiture mixte
1e Cl. 6 places
3e Cl. 25 d°
(31 places)
Fig. 4


Fig. 5


Fig. 6

Macquet sc.

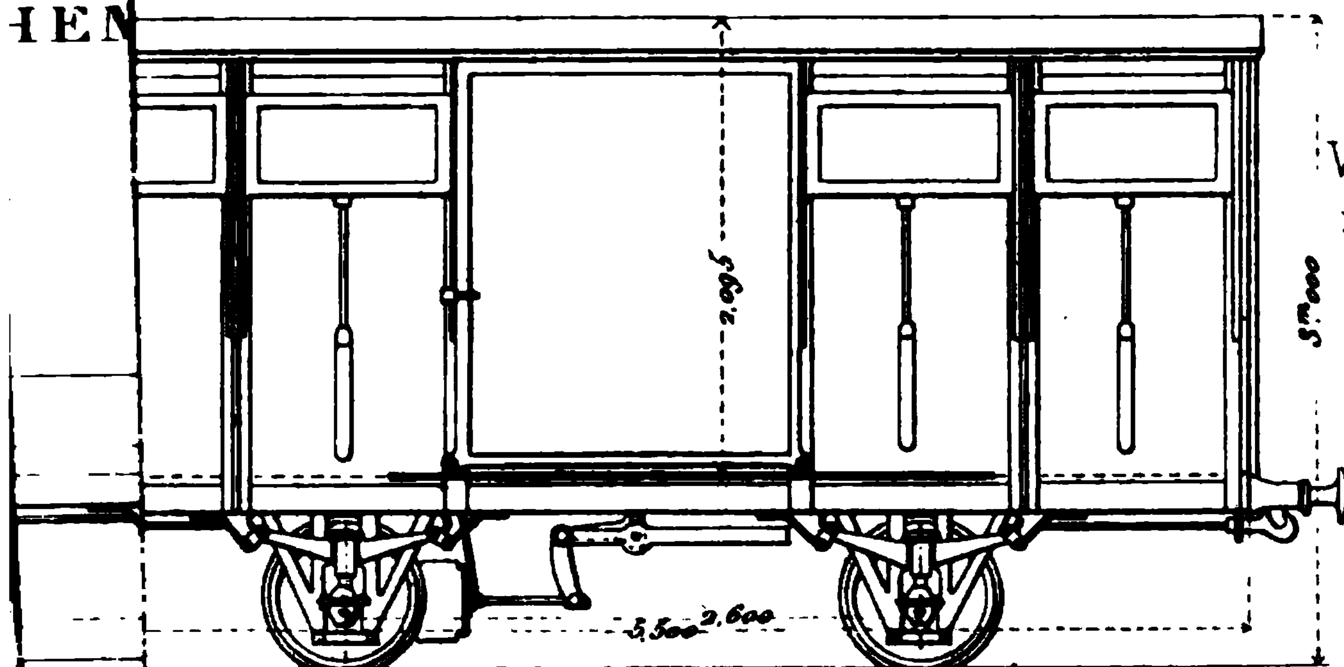


Fig. 5
Wagon fermé à marchandises
(10 tonnes)

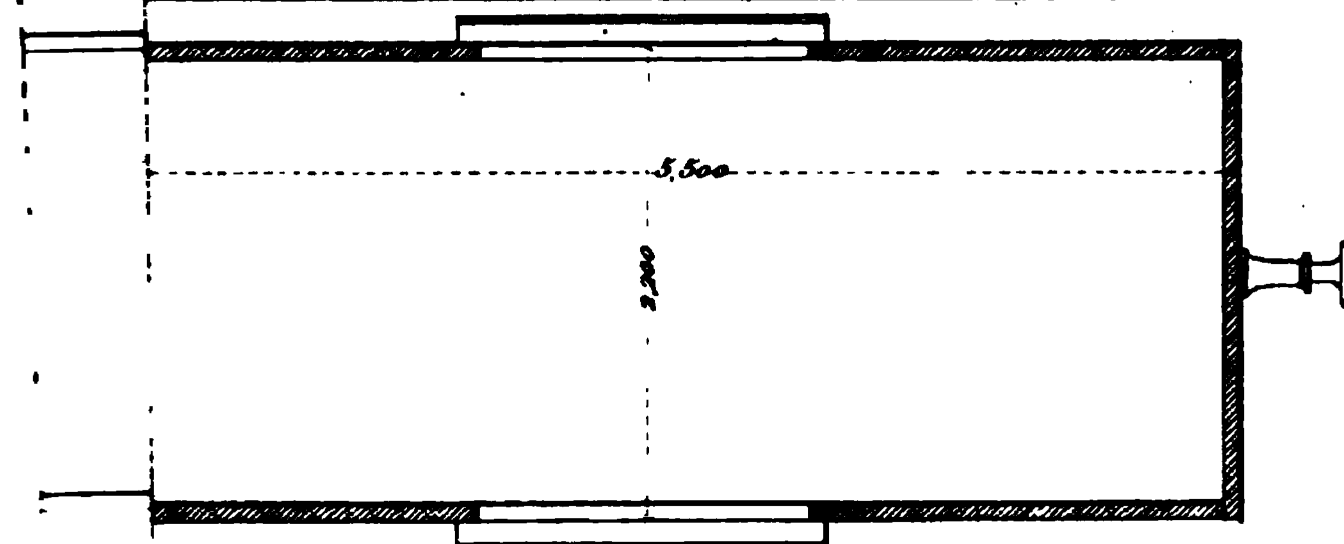


Fig. 11
TRACÉ COMPARATIF
DES RÉSULTATS DONNÉS PAR LA MÉTHODE DU P.L.M.
et celle de Mr Ledoux

——— ——— *Courbes des charges d'après l'adhérence*

—·—·—·— *Courbes des charges calculées par Mr Ledoux*

————— *Courbes des charges calculées d'après les conditions du Tableau.*

Echelle des rampes: 0,04 pr 1 m/m de rampe
Echelle des charges: 0,0025 pr 100 tonnes

Macquet sc

Légende de la Fig. 6

A *Batiment principal (Type n.° 1).*
B *Cabinets d'aisances.*
C *Quais à voyageurs.*
D *Quai à bestiaux.*
E *Halle à marchandises.*
F *Gabarit de chargement.*
G *Bascule.*
T J D *Appareil de traversée. Jonction sous l'angle de 0,13*

Fig. 6 1er Cas Type N° 1

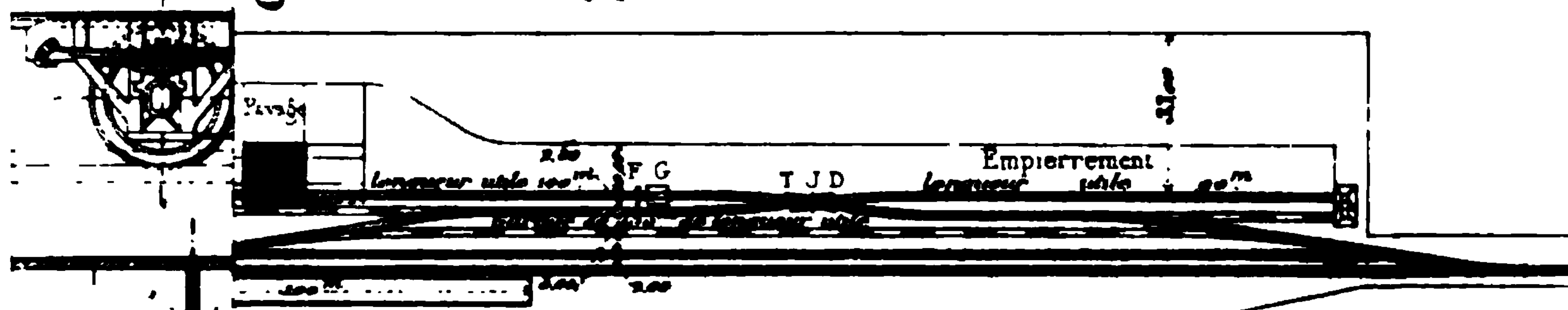
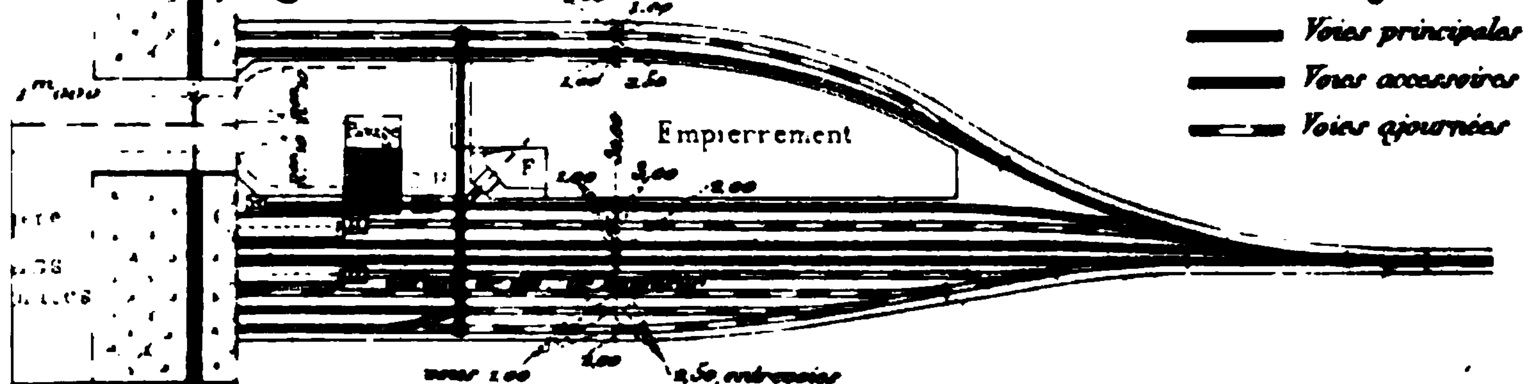


Fig. 7 1er Cas Type N° 2



Légende
Voies principales
Voies accessoires
Voies ajournées

Fig. 8 2me Cas Type N° 1

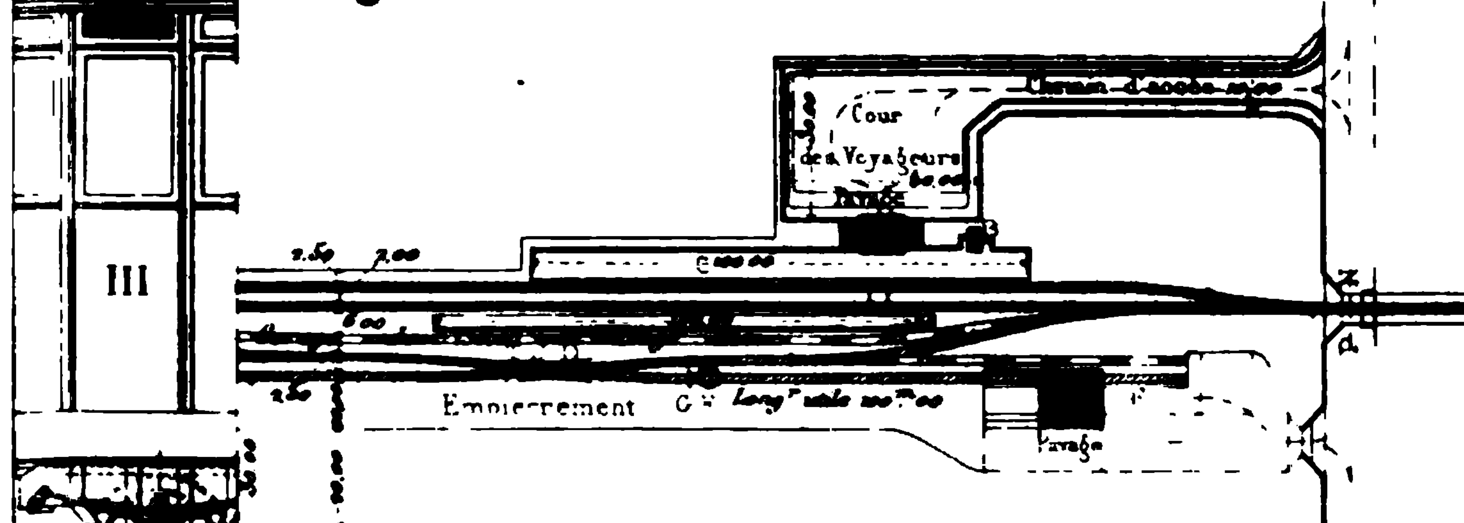
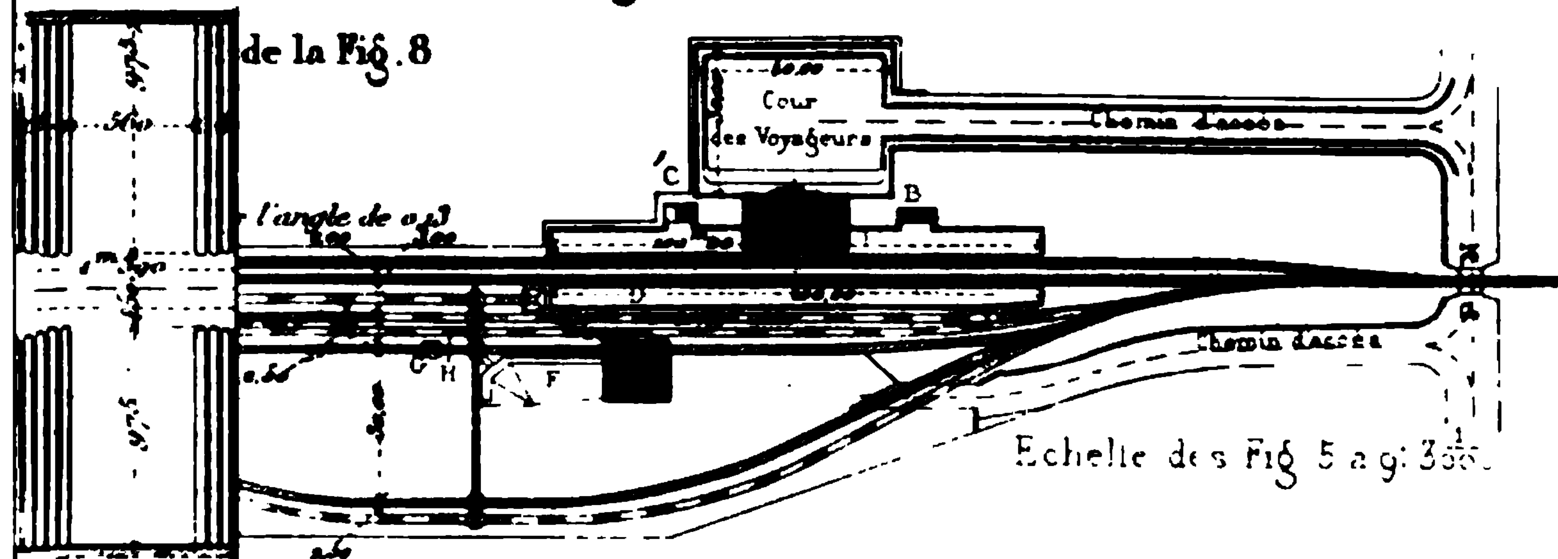


Fig. 9 2me Cas Type N° 2



Echelle des Fig. 5 à 9: 3000

Macquet

Fig. 6

Batiment des voyageurs (Type B)

Plan de l'Etage

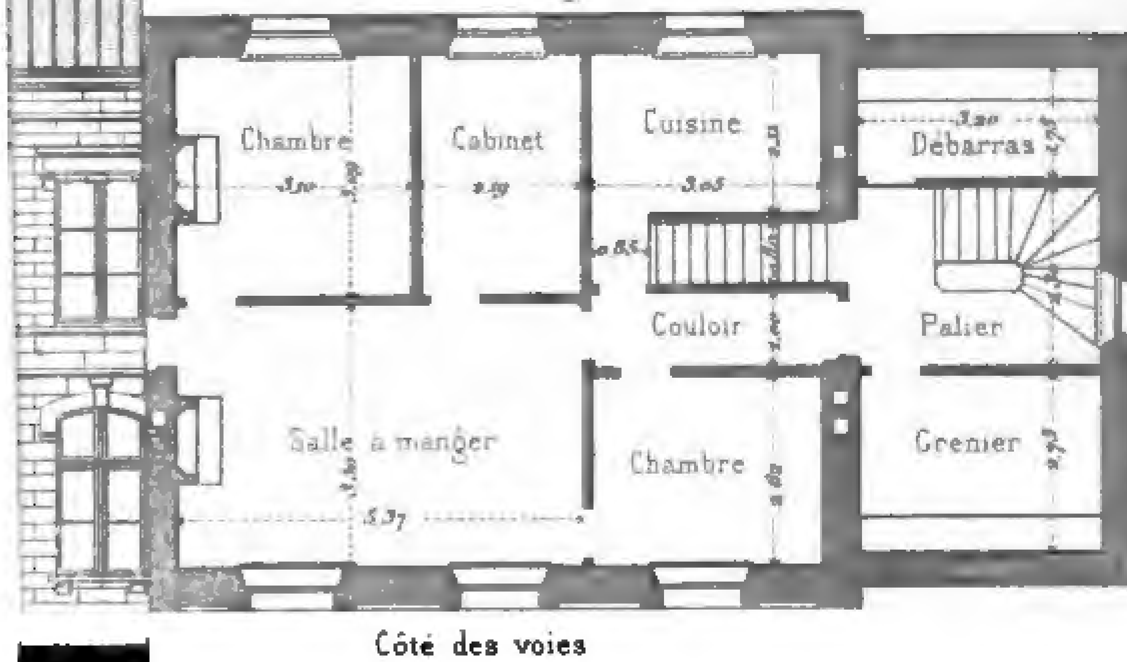
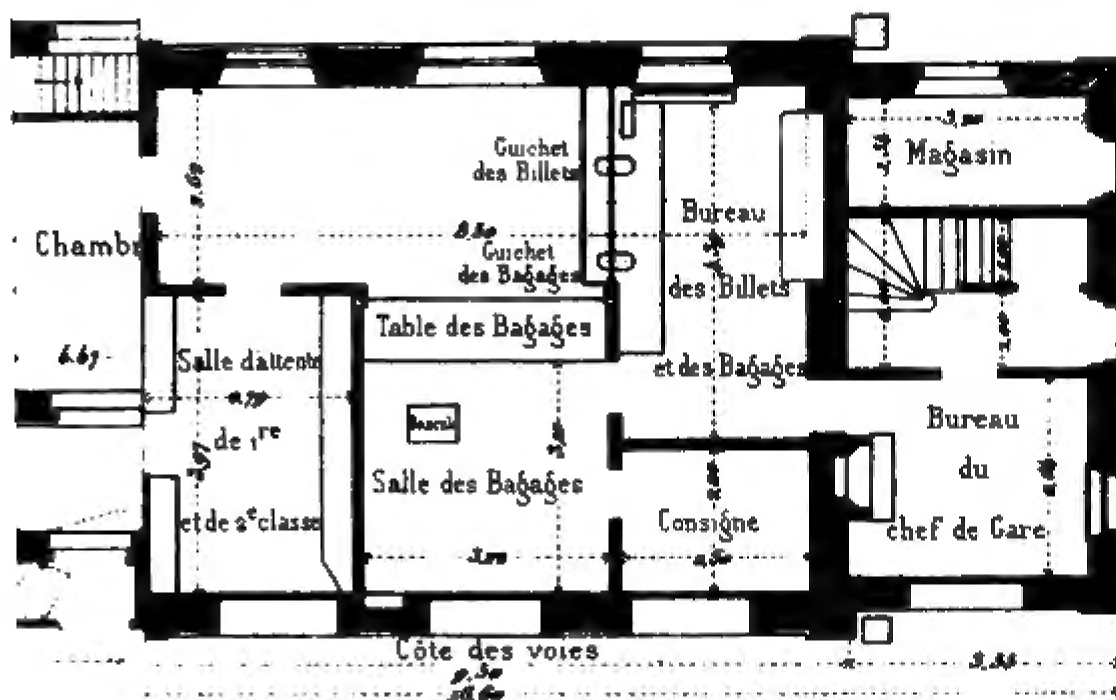
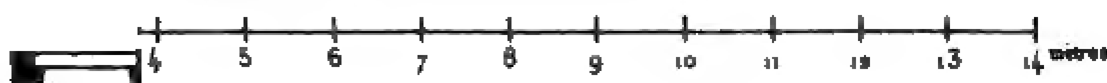


Fig. 7

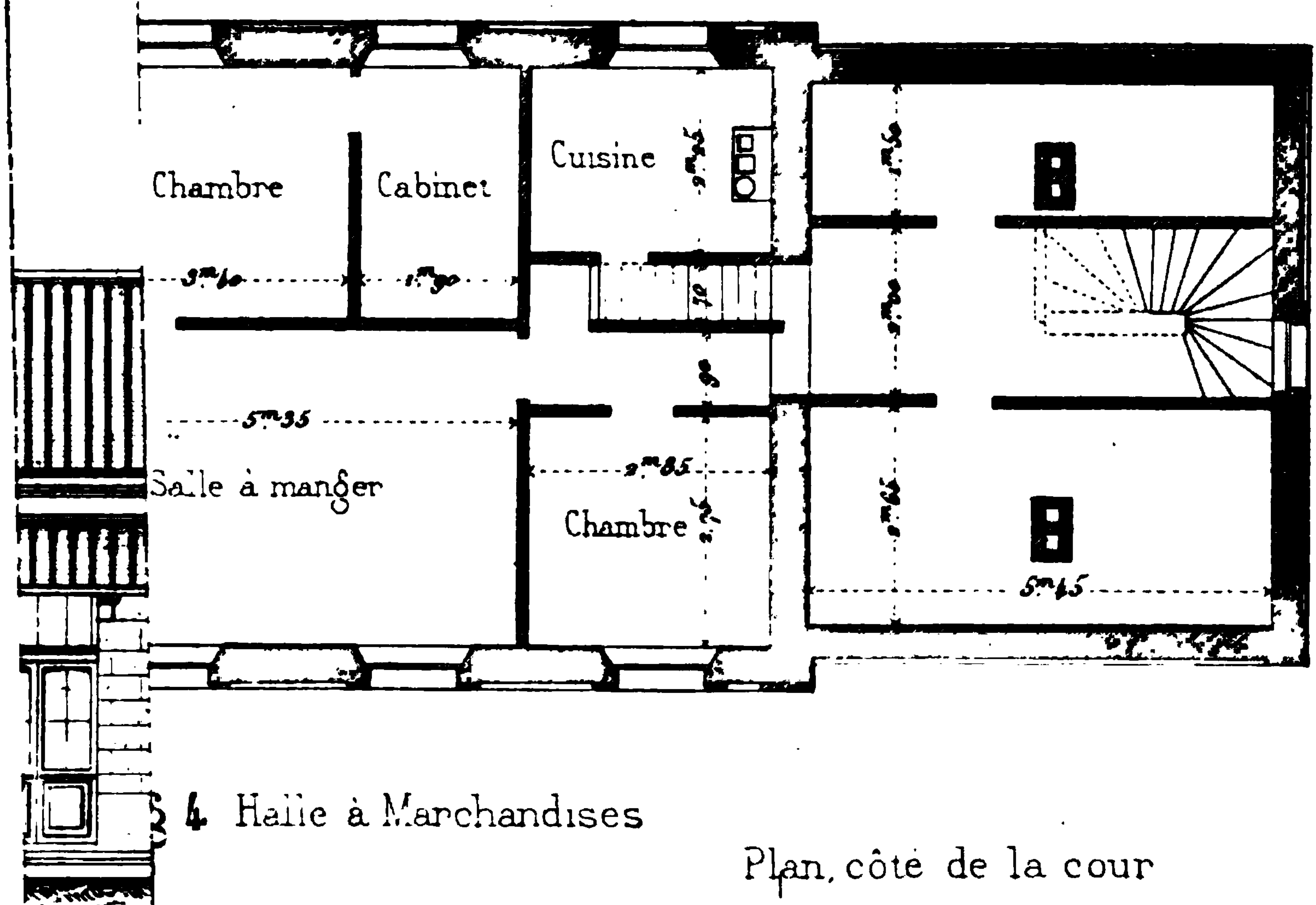
Plan du rez-de-chaussée

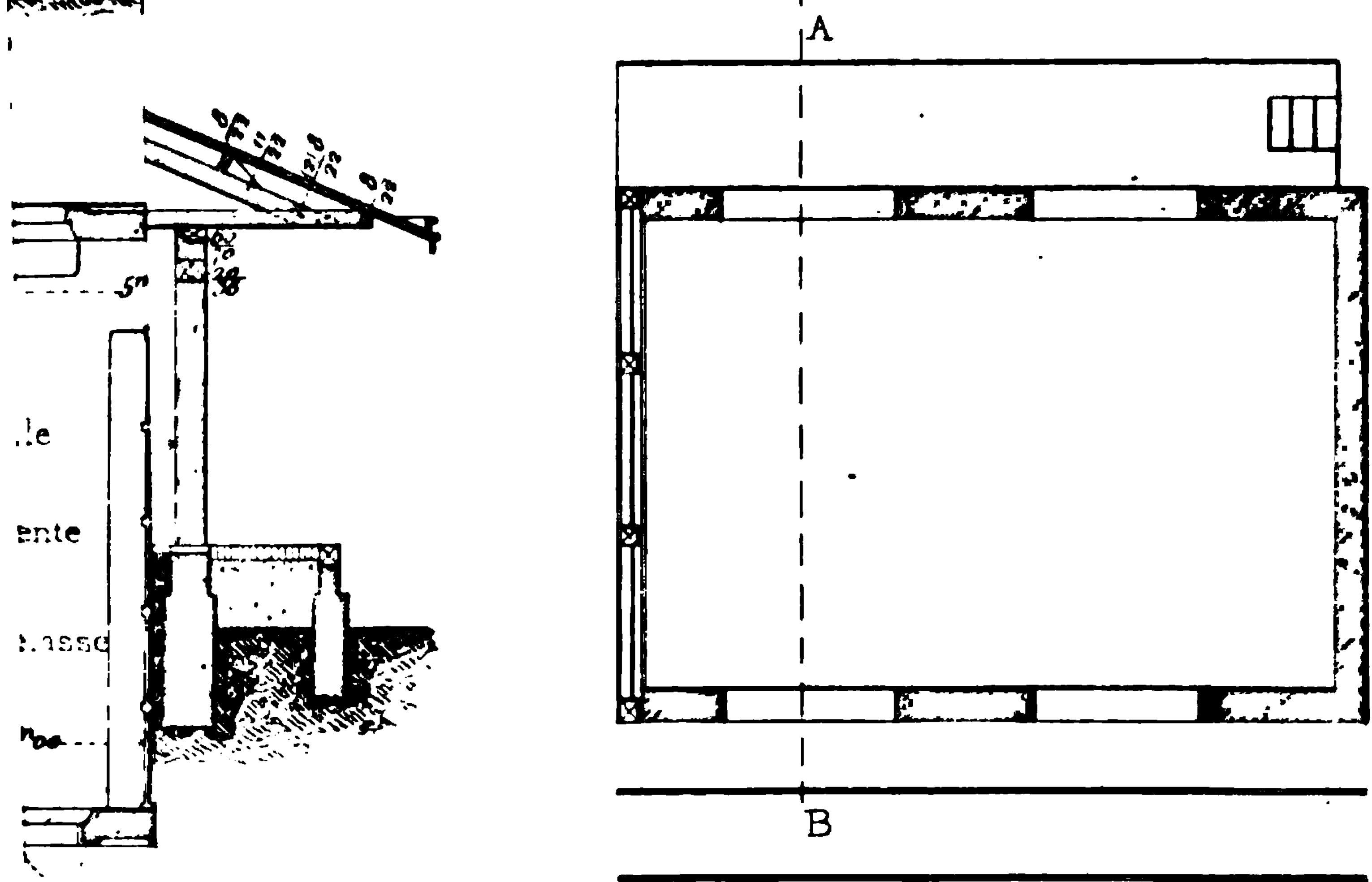


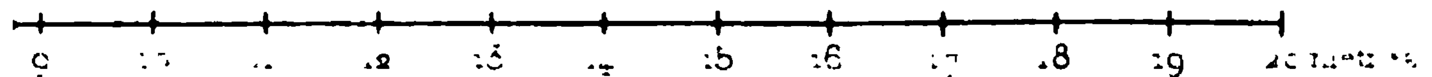
Echelle de 0.0075 pour 1 mètre



Macquet sc


Fig. 2 Plan du 1r étage
Chambre
Cabinet
Cuisine
Salle à manger
Chambre
3m60
1m90
5m35
2m85
5m45


4 Halle à Marchandises
Plan, côté de la cour
A
B


0,00
9
12
15
16
18
19

Macquet sc.

